Lehrbuch der Mikrophotographie

Richard Neuhauss

LEHRBUCH

DER

MIKROPHOTOGRAPHIE

LEHRBUCH

DER

MIKROPHOTOGRAPHIE

VON

DR. MED. RICHARD NEUHAUSS
ARZT

Mit 63 Abbildungen in Holzschnitt,
1 Autotypietafel, 1 Tafel in Lichtdruck und 1 Heliogravüre

DRITTE, UMGEARBEITETE AUFLAGE

LEIPZIG
VERLAG VON S. HIRZEL
1907

Druck von Fischer & Wittig in Leipzig

Vorwort zur ersten Auflage

Seit dem im Jahre 1866 erfolgten Erscheinen des vortrefflichen Werkes von Moitessier, welches durch Benecke ins Deutsche übertragen wurde, ist kein ernstlicher Versuch unternommen, die von Jahr zu Jahr sich mehrende Literatur über Mikrophotographie zusammenzufassen und zu sichten. Die seit jener Zeit erschienenen, mehr oder minder umfangreichen Schriften über Mikrophotographie begnügen sich mit der Beschreibung einzelner Apparate und Methoden, wobei den eigenen Erfindungen vom Autor ein über die Gebühr breiter Raum bewilligt wird.

Der Mangel eines Lehrbuches konnte nicht verfehlen, auf die mikrophotographische Literatur bis in die neueste Zeit hinein den nachteiligsten Einfluß auszuüben. Der Autor von heute kennt zumeist nicht den Autor von gestern, und man schreibt und empfiehlt, was schon vor einem Menschenalter geschrieben und — verworfen ist.

In vorliegender Arbeit wurde versucht, die geschichtliche Entwicklung der mikrophotographischen Apparate und Methoden zur Darstellung zu bringen und zu zeigen, wie man allmählich zu unseren brauchbaren Methoden gelangte. Verfasser war nach Kräften bemüht, jedem Autor zu seinem Rechte zu verhelfen und jedes einzelnen Verdienste zu würdigen. Wenn hierbei in nicht seltenen Fällen der Ruhm für Einführung bedeutsamer Neuerungen anderen als bisher zugesprochen wird, so können darüber nur diejenigen ungehalten sein, welche es lieben, die Verdienste anderer sich selbst anzurechnen.

Sollten in der Darstellung Irrtümer sich eingeschlichen haben, so dürfen wir den überaus großen Umfang des zu bewältigenden Materials als Entschuldigung anführen.

Es bedarf nicht besonderer Erwähnung, daß überall möglichst auf die Originalarbeiten zurückgegriffen ist und diese — nicht etwa ihre Übersetzungen — als Quelle angegeben wurden.

Der erste Abschnitt bespricht den mikrophotographischen Apparat; in dem zweiten lassen wir die für die Mikrophotographie verwendbaren Objektive und Okulare in ihrer Entwicklung aus den dürftigsten Anfängen bis zu den vortrefflichen Apochromaten an unserem geistigen Auge vorüberziehen. Fernere Abschnitte behandeln die Lichtarten, die Entwicklung der Beleuchtungsmethoden, die Fortschritte im Negativ- und Positivverfahren und eine größere Reihe anderer Dinge, die im Laufe der Jahre bedeutende Wandlungen durchmachten.

An dieser Stelle sei Herrn Dr. Wilhelm Julius Behrens in Göttingen für die eifrige Förderung des Werkes und die großen Dienste, welche er besonders bei Beschaffung der notwendigen Literatur leistete, von Herzen Dank ausgesprochen.

Berlin 1890,

Dr. R. Neuhauß

Vorwort zur zweiten Auflage

Die Notwendigkeit, eine zweite Auflage des „Lehrbuches der Mikrophotographie" ins Werk zu setzen, erfreute den Unterzeichneten um so mehr, als bisher noch niemals ein deutsches Werk über Mikrophotographie eine zweite Auflage erlebte.

Bei der Neubearbeitung wurde berücksichtigt, was seit dem Erscheinen der ersten Auflage auf dem Gebiete der Mikrophotographie veröffentlicht ist. Aber auch in vielen anderen Punkten erwiesen sich Umänderungen als nötig. Konnte doch Verfasser bei Bearbeitung der ersten Auflage kein einziges der vorhandenen Werke — das gute Werk von Marktanner erschien gleichzeitig mit vorliegendem Lehrbuche — als Vorbild nehmen. Das einzige Buch, welches vielleicht vorbildlich zur Verfügung stand, dasjenige von Moitessier, war viel zu veraltet. Die später erschienenen Werke sind derart minderwertig, daß sie nur als Richtschnur dienten, wie man bei Abfassung eines Lehrbuches nicht zu verfahren hat. So konnte es nicht unterbleiben, daß bei der ersten Auflage mancher Fehlgriff vorkam. Buchstäblich an jeder Seite wurde daher die Feile angelegt, und einzelne Abschnitte sind gänzlich umgearbeitet.

Wertvoll für die Bearbeitung der zweiten Auflage waren die Erfahrungen, welche Verfasser in zahlreichen Kursen über Mikrophotographie gesammelt hatte. Dinge, die, wie es sich immer wieder zeigte, dem Lernenden besonders schwer fallen, fanden in vorliegender Auflage eingehende Berücksichtigung.

In der Anordnnng des Stoffes wurde nichts geändert, da sich dieselbe gut bewährt hatte, so gut, daß ein französischer Autor sich nicht nur aufs engste an sie „anlehnte", sondern auch ganze Kapitel auszugsweise abschrieb.

Bei Abfassung der ersten Auflage verfolgte Unterzeichneter nicht ausschließlich den Zweck, eine Anleitung zur Herstellung von Mikrophotogrammen zu geben. Es sollte gleichzeitig ein Gesamtüberblick über das auf dem Gebiete der Mikrophotographie Erfundene und Geleistete geboten werden. Wir hofften, die Erfindungswut der Jünger unserer Kunst einzudämmen, da jedem angehenden Erfinder nunmehr Gelegenheit geboten war, sich über das bereits Erfundene zu unterrichten. Diese Hoffnung erfüllte sich nicht. Immer und immer wieder sind die törichtesten Konstruktionen und Methoden von neuem erfunden.

Mögen die zweite Auflage nach dieser Richtung hin segensreicher wirken!

Berlin W, 1898,

Dr. R. Neuhauß

Vorwort zur dritten Auflage

Mit Genugtuung können wir feststellen, daß sich der am Schluß der Vorrede zur zweiten Auflage ausgesprochene Wunsch erfüllte. Im Laufe der letzten Jahre wurde viel auf mikrophotographischem Gebiete erfunden; aber es sind nicht jene gehaltlosen Nacherfindungen, welche früher allerwärts wie Pilze aus der Erde schossen, sondern Neuerungen von hohem, zum Teil unberechenbarem Werte. Erwähnt sei nur die Einführung des ultravioletten Lichtes in die Mikrophotographie. Deutsche Forscher führten diese Fortschritte herbei. Das Ausland, welches in den Jugendjahren der Mikrophotographie sich

so rühmlich hervortat, blieb in den letzten Jahrzehnten völlig bedeutungslos. Den Löwenanteil am bahnbrechenden Neuerungen haben die wissenschaftlichen Mitarbeiter von KARL ZEISS in Jena.

Infolgedessen wurden in der dritten Auflage wesentliche Umgestaltungen und Ergänzungen notwendig. Auch die Abbildungen sind teilweis durch neue ersetzt. Daher wuchs der Umfang des Buches, trotz mehrfacher Streichungen.

Bei Besprechung der zweiten Auflage fand ein Kritiker heraus, daß die Abschnitte „Das negative Bild“ und „Das positive Bild“ 44 Seiten (von den 266 des ganzen Buches) füllen, und stellte es als ungebührlich hin, daß den einfachen photographischen Prozessen, die jeder beherrschen muß, welcher sich auf das Gebiet der Mikrophotographie begibt, ein so breiter Raum gewährt wurde. Hätte der Herr es der Mühe für wert gehalten, etwas mehr zu tun, als Seiten zu zählen, so würde er gemerkt haben, daß in genannten Abschnitten kaum drei Seiten den Vorschriften über Entwickeln, Abschwächen, Verstärken usw. gewidmet sind, im übrigen aber daselbst Dinge besprochen werden, welche mit der Mikrophotographie im engsten Zusammenhange stehen. In der neuen Auflage wurden genannte drei Seiten gestrichen, um einem gleich gewissenhaften Kritiker jedwede Unterlage für seine Behauptungen zu nehmen.

Großlichterfelde bei Berlin
März 1907,

Dr. R. Neuhauß

INHALT

Erster Abschnitt

Der mikrophotographische Apparat

Erster Abschnitt

Der mikrophotographische Apparat

1. Geschichtliche Entwicklung der Apparate

Kaum war in der denkwürdigen Sitzung der Akademie zu Paris am 19. August 1839 durch Arago das Daguerresche Verfahren zur Herstellung von Lichtbildern veröffentlicht, als auch schon die Versuche begannen, die neue Entdeckung für den Mikroskopiker nutzbar zu machen. Zuerst bediente man sich zur Anfertigung von Mikrophotogrammen des Sonnenmikroskops: Das Bild eines mit Sonnenlicht beleuchteten Objektes wurde durch das mikroskopische Objektiv auf eine in größerer oder geringerer Entfernung befindliche weiße Wand geworfen und nunmehr mittels eines photographischen Apparates meist in etwas verkleinertem Maßstabe aufgenommen. Mitunter setzte man an Stelle der weißen Wand unmittelbar die lichtempfindliche Platte; dann mußte natürlich das ganze Zimmer, in welchem die Aufnahme geschah, sorgfältig verdunkelt werden; nur das Objekt erhielt durch einen schmalen Spalt in den Fensterladen das zur Beleuchtung notwendige Licht.

Schon im Jahre 1840 konnte Al. Donné zu Paris der Akademie der Wissenschaften verschiedene, von seinem Präparator Foucault auf die soeben beschriebene Weise hergestellte Abbildungen mikroskopischer Objekte vorlegen.

Hier darf nicht unerwähnt bleiben, daß Davy bereits in den ersten Jahren des vorigen Jahrhunderts, also mehr als ein Menschenalter vor Daguerre, nach einem ganz ähnlichen Verfahren Lichtbilder mikroskopischer Objekte fertigte, indem er das durch ein Sonnenmikroskop erzeugte Bild auf Papier fallen ließ, welches mit Silberlösung bestrichen war. Die vom Lichte getroffenen Teile dieses Papiers werden dunkel, und es entsteht ein Bild. Aber durch kein Mittel der Welt konnte

Davy dies Bild vor der nachfolgenden Einwirkung des zerstreuten Tageslichtes, also vor völlig gleichmäßigem Nachdunkeln der ganzen Papierfläche, schützen.

Die Bestrebungen der Mikrophotographen richteten sich frühzeitig darauf, das verdunkelte Zimmer und den Hilfsapparat mit dem gewöhnlichen photographischen Objektiv entbehrlich zu machen. In bester Weise wurde dies erreicht durch das vom Apotheker Mayer in Frankfurt a. M. im Jahre 1844 erbaute Photomikroskop (Fig. 1): Auf schwerer, eiserner Platte ist der Fuß *m* mit Klemmschrauben befestigt; zur Beleuchtung dient der unter dem Objekttisch angebrachte Spiegel. Ein neben dem Mikroskop in die Eisenplatte eingeschraubter Stab trägt einen eisernen Arm, welcher sich durch Zahn und Trieb auf- und abbewegen läßt. Die von diesem Gerüst unterstützte Kamera steht durch einen Metallring mit dem Tubus in lichtdichter Verbindung. Um Nebenlicht abzuhalten, wird die Verbindungsstelle außerdem mit lichtdichtem Stoff umwickelt. Zur Fixierung der Kamera in bestimmter Höhe dient die Schraube *b*. Das

1

Objektiv entwirft ein Bild des aufzunehmenden Gegenstandes auf der matten Scheibe *or*, welch letztere bei der Aufnahme durch die in einer Kassette befindliche, lichtempfindliche Platte ersetzt wird. Das Bild fällt um so größer aus, je weiter die Scheibe *or* von dem Objekt entfernt ist. Scharfe Einstellung geschieht mittels der Mikrometerschraube *n*.

Mayer hat über seinen vortrefflichen Apparat, der mit geringfügigen Abänderungen heute immer noch nacherfunden wird, nichts

veröffentlicht. Wie leistungsfähig derselbe war, beweisen zwei von ihm hergestellte Mikrophotogramme (Pleurosigma angulatum und attenuatum), die STEIN in seinem Werke ‚Das Licht'[1] wiedergibt.

In etwas anderer Weise als MAYER suchten POHL und WESELSKY in Wien zum Ziele zu gelangen. Im Jahre 1852 benutzten sie das gewöhnliche, zusammengesetzte Mikroskop, ohne Entfernung des Okulars, unter Zuhilfenahme eines einfachen Holzkästchens zum Photographieren[2]. Jedes große oder kleine zusammengesetzte Mikroskop ist hierfür brauchbar. Ein über das Okular gesetztes, rechtwinkliges, total reflektierendes Prisma steht durch einen leicht zu entfernenden, lichtdichten Ärmel mit einer kleinen, hölzernen Kamera in Verbindung und leitet die vom Objektiv kommenden Strahlen in dieselbe (Fig. 2). Die Kamera ruht auf festem Holzgestell oder besser auf eisernem GUYTONschen Träger, um in der Höhe verstellbar zu sein. POHL und WESELSKY legen Gewicht auf besonders feinen Schliff der matten Scheibe. Nötigenfalls müsse man die Scheibe

2

einölen, um die feine Einstellung des Bildes zu erleichtern. Die wagerechte Stellung der Kamera ist hauptsächlich deshalb gewählt, damit sich nicht, wie es bei senkrechter Lage leicht geschehen kann, auf der Mitte der lichtempfindlichen nassen Platte ein Tropfen ansammelt, der einerseits die Schönheit des Negativs beeinträchtigt, anderseits bei zufällig erfolgendem Herabfallen das Mikroskop verunreinigt.

---

[1]) STEIN, S. TH., Das Licht. 2. Heft: Das Mikroskop und die mikrographische Technik. Halle 1884, Knapp.

[2]) Repertorium der Photographie. 4. Aufl. S. 28 u. 367. Wien 1854. — Sitzungsberichte der mathem.-naturw. Klasse der kaiserl. Akademie der Wissenschaften zu Wien Bd. XXIII, 1857, S. 317.

Die wagerechte Anordnung ist ein entschiedener Fortschritt gegen die senkrechte MAYERS; allerdings wird dieser Vorteil in vorliegendem Falle durch ein Hilfsmittel von zweifelhaftem Werte — durch das Prisma — erkauft. Durch dasselbe geht infolge von Reflexion an der Oberfläche und von Absorption im Innern Licht verloren.

Anerkennenswert ist bei dem POHLschen Apparat auch die lockere Verbindung zwischen Tubus und Kamera. Die beim Öffnen des Kassettenschiebers unvermeidliche Erschütterung der Kamera wird bei dieser Anordnung nicht auf das Mikroskop übertragen.

Als Merkwürdigkeit sei angeführt, daß POHL rät, die Kamera inwendig blau anzustreichen, „um Licht zu gewinnen". Das zeugt allerdings von einer staunenswerten Unkenntnis aller in Frage kommenden optischen Gesetze. Jeder Lichtstrahl, der einmal mit der Kamerawand in Berührung kam, ist für die Bilderzeugung verloren und kann nur durch Erzeugung von zerstreutem Licht zur Verschleierung des Negatives beitragen.

GERLACH, welcher in Deutschland als der eigentliche Vater der Mikrophotographie gilt, weil er das erste Lehrbuch verfaßte, beschreibt seinen Apparat (Fig. 3) in dem 1863 erschienenen Werke[1] folgendermaßen: Besitzt das zu mikrophotographischen Arbeiten verwendete Mikroskop einen Auszug zur Verlängerung des Rohres, so tut man gut, das obere Ansatzrohr ganz abzuschrauben. — An dem nunmehr obersten Ende des Tubus ist ein Metallring *i*, welcher außen ein Schraubengewinde trägt, angelötet. An diesem Ringe läßt sich der photographische Aufsatz fest anschrauben. Letzterer besteht aus einem hölzernen Rohre *g* und einem viereckigen, gleichfalls aus Holz konstruierten Kasten *d*, der an seinem oberen Ende mit einer Vorrichtung versehen ist, welche gestattet, die lichtempfindliche Platte ohne Zutritt von Tageslicht einzusetzen. Von der Länge des Rohres *g* hängt die Vergrößerung ab, weshalb man mehrere Rohre von verschiedener Länge vorrätig halten muß. Die Visierscheibe *b* besteht aus einem Holzrahmen, welcher durch zwei Gelenke an der einen Wand des Kastens befestigt wird; derselbe kann demnach auf- und zugeklappt werden; ersteres geschieht bei dem Einsetzen der Kassette, letzteres vor dem Einstellen. GERLACH ersetzt die sonst übliche matte Scheibe durch dünnes Pausepapier, welches er auf dem Rande des Holzrahmens festklebt. Um ein Herabgleiten des durch die Kamera beschwerten Tubus in der federnden Hülse *m* zu vermeiden, ist um letztere ein mit der

[1]) GERLACH, Die Photographie als Hilfsmittel mikroskopischer Forschung. Leipzig 1863, Engelmann.

Klemmschraube *k* zu verengernder Metallring *l* gelegt. Das beim Einstellen störende Seitenlicht hält ein auf den Einstellrahmen gesetzter, abgestumpfter Hohlkegel *a* aus Buchenholz ab.

Gerlachs Konstruktion bezeichnet keineswegs einen Fortschritt gegen diejenige des Apothekers Mayer. Die Belastung des Tubus durch einen so schweren Aufbau bleibt stets eine mißliche Sache, denn das Gewicht drückt die Feder der Mikrometerschraube zusammen. Dieser Übelstand muß sich um so nachteiliger bemerkbar machen, als nach vollzogener feinster Einstellung das Gewicht der Kamera durch Einsetzen der Kassette vermehrt wird. Unbegreiflich ist, daß Gerlach den zur Einstellung dienenden, mit Pausepapier beklebten Holzrahmen durch Gelenke fest mit der Kamera verbindet. Ließe sich derselbe abnehmen, so wäre der Gewichtsunterschied zwischen der zur Einstellung und zur Belichtung hergerichteten Kamera weniger bedeutend. Durch Aufklappen des Holzrahmens wird der Tubus überdies auf einer Seite stärker belastet.

Diese Übelstände mögen Gerlach belehrt haben, daß sich mit seinem Apparat nicht viel anfangen läßt. Er kehrte deshalb später zu der Anordnung von Mayer zurück und befestigte eine mit beliebig zu verlängerndem Balg versehene Kamera an festem Stativ.

3

Bis in die neueste Zeit wurden derartige unpraktische Vorrichtungen, wie Fig. 3, immer von neuem erfunden. Es ist ganz gleichgültig, ob die unmittelbar auf den Mikroskoptubus zu setzende Kamera aus Pappe, Holz oder Aluminium besteht. Unter allen Umständen belastet sie mit der die Platte enthaltenden Kassette den Tubus in ungebührlicher Weise und ermangelt außerdem der Festigkeit, welche für erfolgreiches Arbeiten auf mikrophotographischem Gebiet unerläßlich ist. Auch die leichteste Kamera darf nicht ohne besonderes Stativ über dem Mikroskop angebracht werden.

Kehren wir zu Gerlach zurück. Für Aufnahme größerer Objekte in zwei- bis zehnmaliger Vergrößerung gab derselbe einen besonderen Apparat[1] an: Das Präparat liegt auf einem kleinen, in der Mitte durchbohrten Tisch und wird von unten mittels des Spiegels erleuchtet. Auf dem Tisch sind rechts nnd links vom Präparat senkrecht zur Tischplatte zwei Holzleisten angebracht, welche eine gewöhnliche, mit langem Auszug versehene photographische Kamera, deren Objektiv-

4

brett nach unten gerichtet ist, zwischen sich fassen. Die Kamera kann in größerer oder geringerer Entfernung vom Objekt befestigt werden. Zur Aufnahme dient hierbei ein gewöhnliches photographisches Objektiv.

An Stelle des Säulenstativs von Mayer (Fig. 1) benutzt Harting[2] ein vierbeiniges, festes Gestell (Fig. 4). Als beachtenswerte Verbesserung an diesem Apparat erwähnen wir den Ärmel von schwarzem Gummi, welcher den Mikroskoptubus mit der Kamera verbindet.

---

[1]) A. a. O. S. 35.

[2]) Harting, Das Mikroskop Bd. II S. 289. Braunschweig 1886, Vieweg & Sohn.

Harting erkannte richtig, daß die feste Verbindung beider Teile für den Mikrophotographen nicht nur umständlicher ist, sondern auch das Gelingen eines guten Negatives in Frage stellt, da die beim Einsetzen der Kassette unvermeidliche Erschütterung der Kamera, besonders bei Arbeiten mit starken Objektiven, die scharfe Einstellung beeinträchtigt.

Bei dieser Gelegenheit möge ein Irrtum erörtert werden, der sich noch in neuerer Zeit in der Literatur findet. Wer einen aufrechtstehenden Apparat empfiehlt, bei dem Mikroskop und Kamera fest miteinander verbunden sind, rühmt als besonderen Vorzug dieser Anordnung, daß Erschütterungen, denen der Apparat während der Belichtung der Platte ausgesetzt ist, nicht nachteilig wirken, da Kamera und Platte dieselben Bewegungen machen, wie Mikroskop und Objekt. Hätte man sich der Mühe unterzogen, diese Behauptung auf ihre Richtigkeit zu prüfen, so wären viele Platten und manche kostbare Stunde nicht unnötig vergeudet. Der Versuch ist überaus einfach: Man macht auf der Einstellscheibe eines derartig hergerichteten Apparates ein Merkzeichen (am zweckmäßigsten mit Feder und Tinte) und beobachtet nach genauester Einstellung mit der Lupe den Punkt des Bildes, welcher mit diesem Merkzeichen zusammenfällt. Wird nun durch einen vorüberfahrenden Wagen, oder durch einen Menschen, welcher im Zimmer auf- und abgeht, der Apparat erschüttert, so sieht man, daß der beobachtete Bildpunkt seine Lage gegen das angebrachte Merkzeichen unaufhörlich wechselt. Die Schwingungen des Objektes sind also andere, als diejenigen der Einstellscheibe.

Später empfahlen noch viele andere (z. B. Engel [1], Czaplewski [2], van Heurck [3], Hinterberger [4], Pringle [5] usw.), die Kamera durch ein besonderes Gestell zu stützen. Da es nun völlig gleichgültig ist, ob diese Stütze 1, 2, 3 oder 4 Füße hat, so brauchen wir auf die einzelnen Konstruktionen nicht genauer einzugehen [6]. Die Apparate von Czaplewski

---

[1]) Berliner klinische Wochenschrift 1893, No. 47.

[2]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. XIII, 1896, S. 147. Internationale photographische Monatsschrift für Medizin Bd. III, 1896, S. 358.

[3]) van Heurck, ‚Le Microscope'. 4. Auflage. S. 215. Eders Jahrbuch für Photographie und Reproduktionstechnik für 1893 S. 291.

[4]) Eders Jahrbuch für 1893 S. 325.

[5]) Journal of the Royal Microscopical Society 1893 S. 695.

[6]) Wer mit Vorrichtungen dieser Art arbeiten will, sei, wofern er es nicht vorzieht, sich vom Tischler ein die Kamera tragendes Gestell fertigen zu lassen, auf die neuen Modelle von Zeiss, Leitz, Seibert, Reichert, Winkel und anderen verwiesen.

und VAN HEURCK besitzen einen schwerfälligen Kastenaufbau, „um störendes Seiten- und Oberlicht auszuschließen". Ein Pappschirm oder schwarzes Tuch erfüllt denselben Zweck.

In der geschichtlichen Entwicklung der Apparate fortfahrend, erwähnen wir den alten Apparat von MÖLLER und EMMERICH in Gießen[1] (Fig. 5). Das ganze Instrument ruht zwischen zwei Säulen und ist um eine wagerechte Achse drehbar. Der Apparat kann daher sowohl in wagerechte, wie in senkrechte Stellung gebracht werden. Diese Anordnung blieb vorbildlich für viele spätere Konstruktionen.

5

Das im Jahre 1866 zu Paris herausgegebene, epochemachende Werk von Dr. A. MOITESSIER: ‚La photographie appliquée aux recherches micrographiques', welches zwei Jahre später in deutscher Bearbeitung von BENECKE[2] erschien, brachte auch in bezug auf den Apparat manches Neue. MOITESSIERS Apparat für kleine Bilder (Fig. 6) besteht nur aus einer kleinen Kassette, welche mit der lichtempfindlichen Platte an Stelle des Okulares ohne Stütze auf dem

[1]) DIPPEL, L., Das Mikroskop und seine Anwendung. 1. Auflage Bd. I S. 211. Braunschweig 1872. Vieweg & Sohn.

[2]) BENECKE, B., Die Photographie als Hilfsmittel mikroskopischer Forschung. Braunschweig 1868, Vieweg & Sohn.

Mikroskoprohr befestigt wird. Um mehrere Aufnahmen schnell hintereinander fertigen zu können, richtete Moitessier die Kassette für eine größere Platte ein und traf Vorkehrungen, daß 6 Aufnahmen auf dieser Platte geschehen konnten. In diesem Falle mußte die Kassette jedoch wegen ihres erheblichen Gewichtes durch ein Gestell gestützt werden (Moitessier, S. 111 u. 122). Benecke konnte es sich nicht versagen, die Sache noch verwickelter zu machen: er konstruierte eine solche Kassette für 8 Aufnahmen (Benecke, S. 55).

Die auf diese Weise erzielten Bilder sind jedoch so winzig klein, daß sie eine mit Mühen und Kosten verbundene, nachträgliche Vergrößerung benötigen. Hierdurch werden die Vorteile aufgehoben, welche darauf beruhen, daß man das vom Objektiv erzeugte Bild an genau derselben Stelle entstehen läßt, wo es für die gewöhnliche Okularbeobachtung zustande kommt. Man hat dies Verfahren später gänzlich verlassen; nur van Heurck (Antwerpen) bediente sich gelegentlich noch desselben.

6

Der kleine Apparat von Moitessier (Fig. 6), bei dem natürlich das Mikroskop in gewöhnlicher senkrechter Stellung verbleibt, hat außer dem unter dem Objekttisch angebrachten Kondensor und Spiegel einen sogenannten Schlitten für die Aufnahme verschiedener zur Beleuchtung dienender Vorrichtungen (matte Scheibe, Sammellinse, Küvette usw.). Dieser wagerecht auf einer runden Holzscheibe, welche auch das Mikroskop trägt, angebrachte Schlitten besteht aus zwei fest miteinander verbundenen Schienen, zwischen welchen sich die genannten Gegenstände hin- und herbewegen lassen.

Moitessiers senkrechter Apparat für direkte starke Vergrößerungen (Fig. 7) zeigt eine über das Mikroskop zu setzende, von drei Holzleisten getragene Balgkamera, an deren oberem Ende ein 20 cm langer, hölzerner Kasten mit seitlicher, lichtdicht schließender Tür sich

befindet. Zur feinen Einstellung wird anstatt einer mattgeschliffenen Glasscheibe eine mit weißem Papier überzogene Tafel verwendet. Das auf dieser Tafel durch das Objektiv entworfene Bild betrachtet man von vorn durch die seitlich angebrachte Tür. Bei Arbeiten mit schwachen Objektiven und kräftiger Beleuchtung eignet sich das weiße Papier sehr gut zur scharfen Einstellung; bei starken Vergrößerungen ist es jedoch weniger brauchbar.

7

Da auch Moitessier die Schattenseiten der senkrechten Apparate kennen lernte, konstruierte er, wie ehedem Pohl in Wien (s. Fig. 2), eine Vorrichtung mit senkrechtem Mikroskop aber wagerechter Kamera; oben auf den Mikroskoptubus steckte er ein Prisma mit totaler Reflexion. Die feine Einstellung geschieht auch hier auf weißem Papier; man öffnet die am Kamera-Ende seitlich angebrachte kleine Tür und betrachtet, während die Hand an der Mikrometerschraube dreht, das auf dem Papier entworfene Bild. Dieser Apparat ist demjenigen von Pohl durch seinen viel längeren Auszug überlegen; die feste Verbindung zwischen Mikroskop und Kamera muß dagegen als ein Rückschritt gegen Pohls Apparat bezeichnet werden.

Endlich beschreibt Moitessier auch einen Apparat, bei dem das durch einen umlegbaren Fuß in wagerechte Lage gebrachte Mikroskop mit wagerechter Kamera fest verbunden ist (Fig. 8). Durch diese Anordnung, welche einen gewaltigen Fortschritt gegenüber den bis dahin üblichen Konstruktionen bedeutet, kommt das total reflektierende Prisma in Fortfall; auch kann das Objekt direkt von unten ohne Zwischenhaltung eines Spiegels beleuchtet werden.

Freilich ließ sich auch, wie wir sahen, der Apparat von Möller und Emmerich (Fig. 5) in wagerechte Lage bringen und schon vor Moitessier hatte der Amerikaner O. N. Rood im Jahre 1862 einen wagerechten, mit umlegbarem Mikroskop versehenen Apparat beschrieben[1], doch gebührt Moitessier der Ruhm, mit Nachdruck auf

8

die Vorzüge dieser Anordnung hingewiesen zu haben (Moitessier, S. 135).

Nach Moitessiers Meinung ist das umgelegte Mikroskop nur zum Photographieren fest verkitteter Objekte zu verwenden, die sich ohne Schaden in senkrechter Lage auf dem Objekttisch durch Klemmfedern befestigen lassen. Das ist eine durchaus irrige Meinung; denn infolge von Adhäsion des Deckgläschens ist auch bei den in flüssigen Medien eingebetteten Präparaten das Bestreben herunterzusinken geringfügig, wofern nur recht wenig Flüssigkeit zwischen Objektträger und Deckgläschen sich befindet.

Um bei Anwendung von Sonnenlicht den Spiegel überflüssig zu machen, welcher selbst bei wagerechter Lage des Mikroskops erforder-

[1]) Quart. Journal N. Ser. VIII, 1862, S. 261.

lich wird, kam Benecke[1], der Übersetzer des Moitessierschen Werkes, auf den Gedanken, den ganzen mikrophotographischen Apparat wie ein Fernrohr auf parallaktischem Stativ zu befestigen und bei der Aufnahme direkt der Sonne zuzukehren (Fig. 9). Die hierbei verwendete Balgkamera kann auf 1 m Länge ausgezogen werden. Das Grundbrett derselben besteht der bequemeren Handhabung wegen aus zwei durch Scharniere verbundenen und durch starke Riegel in einer Ebene zu vereinigenden Hälften. Die Kamera trägt an ihrer Vorderfläche eine Messingplatte, in deren Mitte der durch Zahn und Trieb vor- und rückwärts zu bewegende Tubus steckt. Zu beiden Seiten des Tubus stehen zwei runde Stangen, auf denen sich der Objekttisch mit Hilfe eines Hebels und der seitlich angebrachten Mikrometerschraube verschieben läßt.

9

[1]) A. a. O. S. 65, und Benecke, Beiträge zur mikrophotographischen Technik: Archiv für mikroskopische Anatomie 1867 S. 61.

Hat man den Apparat auf wagerechter Ebene genau im Meridian des Ortes aufgestellt, so ist nur nötig, ihn nach der Sonne zu richten und letzterer durch Drehung einer Schraube zu folgen.

Der Apparat kann leicht in einen senkrechten verwandelt und mit dem nötigen Spiegel in Verbindung gebracht werden; zu diesem Zwecke wird das parallaktische Zwischenstück beseitigt und die Kamera direkt an der senkrechten Säule befestigt. Die Einstellung geschieht auf matter Glasplattte oder ohne Platte mit Hilfe einer Einstellupe. Letztere ist über der zentralen Öffnung eines rechteckigen, dünnen Holz- oder Metalltäfelchens, dessen lange Seite an Größe der angewandten Platte gleicht, in solcher Stellung ein für allemal befestigt, daß sie für eine Ebene, auf welche das Holztäfelchen aufgesetzt wird, vollkommen scharf eingestellt ist. Bringt man diese Lupe statt der lichtempfindlichen Platte in die in den Apparat eingeschobene Kassette, so liegt jedes mit derselben scharf eingestellte Bild genau in der Ebene der lichtempfindlichen Schicht. Dabei erlaubt die Schmalheit des Holztäfelchens die Lupe über das Gesichtsfeld hinwegzuführen und verschiedene Teile desselben zu beobachten.

Benecke verrät uns nicht, wie er mit diesem Apparat dasjenige Gesichtsfeld, welches er zu photographieren gedachte, überhaupt auffand. Der Tubus ist fest mit dem Stirnbrett der Kamera verschraubt, so daß von einem Suchen bei gewöhnlicher Okularbeobachtung keine Rede sein kann. Wer es einmal versuchte, unter Beobachtung des Bildes auf der matten Scheibe ein bestimmtes Gesichtsfeld aus einem Objekt von einigem Umfang herauszufinden, wird kaum begreifen, daß Benecke nicht in erster Linie dafür Sorge trug, diesem Übelstande abzuhelfen. Überdies ist die parallaktische Aufstellung, welche nur den Zweck hat, den Spiegel überflüssig zu machen, völlig wertlos, da bei der großen Kraft des Sonnenlichtes die durch einen, oder sogar zwei Spiegel herbeigeführten Lichtverluste keine Rolle spielen.

In der Folgezeit erfuhr der mikrophotographische Apparat durch G. Fritsch[1] wesentliche Verbesserungen. Das Hauptbestreben von Fritsch war darauf gerichtet, die verschiedenen Teile: Kamera, Mikroskopstativ und Beleuchtungsvorrichtung möglichst voneinander zu trennen. Er senkt den umlegbaren, hufeisenförmigen Fuß des Mikroskops in den Ausschnitt eines massiven Brettes ein, welches durch aufgesetzte Stücke mit querer Faserung am Ziehen und Verbiegen gehindert wird. Das Mikroskop hat in dem Ausschnitt

[1]) Fritsch, G., Beitrag zur Kenntnis der mikroskopischen Photographie: ‚Licht‘, Zeitschrift für Photographie Jahrg. I. Berlin 1869.

seinen festen, unverrückbaren Stand; die gewöhnliche photographische Kamera wird mit ihrer Vorderseite dicht an das Fußbrett des Mikroskops geschoben, mit diesem Brett jedoch nicht verbunden. Da die Kamera, um hinreichend große Bilder zu ermöglichen, einen langen Auszug besitzen muß, so wird es nötig, die Mikrometerschraube zu verlängern. FRITSCH ersetzt den gewöhnlichen Kopf der Mikrometerschraube durch einen mit Zahnrad versehenen Kopf, welcher mit einem Trieb von nur halb so viel Zähnen in Verbindung steht (*b* in Fig. 10). Dieser Trieb wird gedreht durch eine wagerechte Achse, welche mittels zweier Kugelgelenke und eines 15 cm langen Zwischenstücks mit einem Holzstab derart verbunden ist, daß jede Drehung des letzteren eine Bewegung der Einstellschraube hervorruft. Der Holzstab liegt frei neben der Kamera, damit nicht die bei dem Öffnen und Schließen des Kassettenschiebers unvermeidliche Erschütterung der Kamera sich auf das Mikroskop fortpflanzen kann. Der Trieb ruht auf schwerem Metallfuß. Die feine Einstellung geschieht auf durchsichtiger Spiegelglasscheibe mit Hilfe der Einstellupe. Zur lichtdichten Verbindung von Tubus und Kamera befindet sich am Stirnbrett der letzteren ein schwarzer, mit Schnürzug versehener Ärmel, der sich über dem Tubus zusammenziehen läßt. Ein Schlitten nimmt die zur Beleuchtung notwendigen Gegenstände, wie Spiegel, Küvette, Blenden und Sammellinse auf, die zur Ermöglichung genauester Zentrierung insgesamt auf Trägern ruhen, welche nicht nur in der Höhe, sondern auch nach rechts und links verstellbar sind. Ein fester, schwer zu erschütternder Tisch trägt den ganzen Apparat.

Die von FRITSCH empfohlene Anordnung gestattet vor Beginn der eigentlichen photographischen Arbeit das aufznnehmende Präparat mit Hilfe des Okulars unbehindert zu durchmustern, die zur Aufnahme am meisten geeignete Stelle aufzusuchen, die Beleuchtung zu regeln und dann erst durch Herausschieben der photographischen Kamera und Überziehen des lichtdichten Ärmels den Tubus mit der Kamera in Verbindung zu bringen.

R. KOCH[1], welcher sich zu seinen vortrefflich gelungenen Aufnahmen des Apparates von FRITSCH bediente, schlug vor, um sowohl Kamera wie Mikroskop unverändert stehen lassen und dennoch ohne Umstände jederzeit in den Tubus blicken zu können, ein trichterförmiges Ansatzrohr am Stirnbrett der Kamera anzubringen, welches sich ohne Verschiebung des Mikroskops oder der Kamera leicht ab-

[1]) KOCH, R., Untersuchungen über Bakterien: COHN, Beiträge zur Biologie der Pflanzen Bd. II S. 411. Breslau 1877.

nehmen läßt und eine solche Länge besitzt, daß nach Entfernung desselben der Kopf des Beobachters zwischen Kamera und Tubus Platz findet.

Später nahm Fritch[1] einige nicht wesentliche Veränderungen an seinem Apparate vor und nannte denselben, welcher nunmehr für starke und schwache Vergrößerung, in wagerechter wie senkrechter Stellung gleich brauchbar erscheint, mikrophotographischen Universalapparat. Die Firma Seibert und Krafft in Wetzlar führte den Apparat aus (Fig. 10 u. 11): Der ungewöhnlich weite Tubus wird durch Zahn und Trieb am Prisma, aber außerdem noch durch freie Schiebung bewegt, so daß ein Bildwinkel von etwa 35° bei Fokal-

10

abständen, die auch für kleine Aplanate genügen, zur Verwendung kommen kann. Der drehbare Objekttisch läßt sich entfernen, und es wird dadurch eine Öffnung von 4 cm Durchmesser für die Beleuchtung frei. Ein oben über den Tubus gezogener Metallring ist an einem kegelförmig geschnittenen Tuchsack lichtdicht befestigt. Letzterer sitzt an einem kurzen Zwischenbalg *h* und vermittelt so die Verbindung mit dem Stirnbrett einer gewöhnlichen, in Fig. 10 nicht gezeichneten, photographischen Kamera. Der Zwischenbalg vertritt die Stelle des von Koch empfohlenen trichterförmigen Ansatzrohres; er ermöglicht, ohne irgendeinen Teil zu rücken oder stärker zu

[1]) Bericht über die allgemeine deutsche Ausstellung a. d. Gebiete der Hygiene und des Rettungswesens, Berlin 1882-83. Herausgeg. von Dr. Paul Börner Bd. I S. 100. Breslau 1885.

erschüttern, bei zusammengelegtem Balg den Kopf zwischen Kamera und Mikroskop zu bringen. Die feine Einstellung geschieht wie bei dem früheren Apparat mit Hilfe des Hookeschen Schlüssels. Auch die Aufstellung der Beleuchtungsvorrichtungen auf dem Schlitten *g* (Planspiegel, Sammellinse, Blende, matte Scheibe, Küvette) ist nicht

11

verändert. Sind alle Teile durch ihre Schrauben festgestellt, so genügt die Aufrichtung des im Scharnier beweglichen Fußbrettes *k* (Fig. 11), um Mikroskop nebst Beleuchtungsapparat in senkrechte Stellung zu bringen. Dann hat das Präparat wagerechte Lage, welche natürlich auch der photographischen Platte anzuweisen ist. Dies geschieht am einfachsten durch Aufhängen der photographischen

Kamera in entsprechender Höhe an senkrechter Wand über dem Mikroskop. Hierdurch erwachsen keine anderen nennenswerten Schwierigkeiten, als daß man das Bild auf der Visierscheibe unter Benutzung eines Trittbrettes beobachten muß.

Der Apparat von Fritsch bedeutet einen bemerkenswerten Fortschritt in der Entwicklung der mikrophotographischen Apparate. Sind, wie dies früher fast allgemein geschah, Mikroskop und Kamera fest miteinander verbunden, so kann schon durch Aufsetzen der Lupe auf die Visierscheibe die feine Einstellung verändert werden; noch weit größer sind die Störungen, welche das Einschieben der Kassette und das Aufziehen des Schiebers verursachen. Der hierbei auf die Kamera ausgeübte Druck überträgt sich auf den Tubus und bewirkt eine Änderung in dem Abstand des Objektives vom Objekt. Am meisten fällt diese Erscheinung bei Verwendung starker Objektive ins Gewicht.

Wenn auch vereinzelte Mikrophotographen vor Fritsch, wie Pohl und Weselsky (Fig. 2), Harting (Fig. 4), Reichardt und Stürenburg[1], Tubus und Kamera durch einen lichtdichten Ärmel locker verbanden, so geschah dies mehr des billigen Materials wegen, als in der ausgesprochenen Absicht, möglichste Trennung beider Teile herbeizuführen.

Die von Fritsch empfohlene Anordnung von Kamera und Mikroskop auf gesondertem Laufbrett schützt in bester Weise vor Übertragung der von der Kamera ausgehenden Erschütterungen auf das Mikroskop. Daß diese Anordnung auch den Vorzug hat, jede beliebige photographische Kamera für mikrophotographische Zwecke verwerten zu können, bedarf nicht besonderer Erwähnung.

Ferner verdient die von Fritsch angegebene Verlängerung der Mikrometerschraube vollste Anerkennung. Während man anfangs nur mit so kurzer Balgenlänge arbeitete, daß die Erreichung der Mikrometerschraube mit der Hand keine Schwierigkeiten bereitete, mußte, als das Verlangen nach stärkeren Vergrößerungen sich geltend machte und demzufolge die Balgenlänge wuchs, den veränderten Verhältnissen durch besondere Vorkehrungen Rechnung getragen werden. Moitessier[2] schlägt ein System von Hebeln und Schrauben vor, mittels dessen man die Mikrometerschraube aus größerer Entfernung bequem bewegen könne; vorteilhafter sei es jedoch, das auf weißes Papier

[1]) Reichardt und Stürenburg, Lehrbuch der mikroskopischen Photographie. Leipzig 1868, Quandt & Händel. — Da der von R. u. St. beschriebene Apparat von älteren Konstruktionen sich nicht wesentlich unterscheidet, so nahmen wir im vorhergehenden von seiner Erwähnung Abstand.

[2]) A. a. O. S. 128.

entworfene Bild durch eine an der Kamera seitlich angebrachte Tür von vorn zu betrachten, wobei selbst bei langem Auszug die Erreichung der Mikrometerschraube ohne weiteres gelingt.

Der Amerikaner Rood stellt bei seiner im vorgehenden nur kurz erwähnten Kamera (s. S. 11) hinter der Einstellscheibe einen Planspiegel derart auf, daß man vom Mikroskop aus das auf der matten Scheibe entworfene Bild sieht. Über dies Verfahren, welches Stein[1] später als das seinige beschrieb, ist zu bemerken, daß eine scharfe Einstellung feinster Einzelheiten bei starken Vergrößerungen hierdurch niemals ermöglicht wird, auch dann nicht, wenn man wie Stein sich zur Beobachtung des Bildes eines kleinen Fernrohrs oder eines guten Opernglases bedient.

Beneckes großer Apparat (Fig. 9) besitzt zur feinen Einstellung eine an der Kamera seitwärts angebrachte lange Schraube, welche mit der Hand bequem erreichbar ist, während das Auge das Bild auf der Einstellscheibe mustert.

Die von Fritsch bei langer Kamera empfohlene feine Einstellung mit Hilfe des Hookeschen Schlüssels ist einerseits deshalb unübertrefflich, weil sie die feinste Bewegung der Mikrometerschraube auf jede beliebige Entfernung hin gestattet, und weil sie anderseits, worauf Fritsch mit Recht besonderes Gewicht legt, Erschütterungen der Kamera nicht auf das Mikroskop überträgt, was stets zu fürchten ist, wenn die Verlängerung der Schraube fest mit der Kamera in Verbindung steht.

Bei großen Kameraauszügen und starken Vergrößerungen erscheint das Bild auf der Mattscheibe in der Regel scharf, wenn ein normalsichtiger Beobachter das Präparat bei der Okularbeobachtung für sein Auge scharf eingestellt hat. Auch für beliebig kleine Kameralängen trifft dasselbe zu, wenn der einstellende Beobachter entsprechend weitsichtig ist, oder sein Auge durch eine passende Konkavlinse weitsichtig macht. Durch die wechselnde Akkommodation des Auges wird diese Methode aber zu unsicher, um sich praktisch verwerten zu lassen. Man kommt also ohne eine brauchbare Verlängerung der Mikrometerschraube nicht aus.

Einen großen Fortschritt bezeichnet endlich die von Fritsch angegebene feine Einstellung auf durchsichtiger Spiegelglasscheibe mit Hilfe der Einstellupe. Wir erinnern daran, daß man schon sehr früh darauf bedacht war, das grobe Korn der gewöhnlichen matten Scheibe durchsichtiger zu machen. Pohl empfahl im Jahre 1852

[1]) Stein, Das Licht. Heft 2 S. 231.

(s. S. 3) die Scheibe einzuölen; GERLACH ersetzte das Glas durch dünnes, durchsichtiges Pausepapier (S. 5); MOITESSIER verwendete eine mit weißem Papier überzogene Tafel und BENECKE betrachtete das Bild ohne jede Scheibe nur mit Hilfe der Einstellupe. Während ein auf weißem Papier entworfenes Bild bei schwachen Vergrößerungen leicht scharf einzustellen ist, so versagt diese Methode doch bei lichtschwachen Objektiven. Das Verfahren von BENECKE ist demjenigen von FRITSCH am ähnlichsten, doch verhindert das als Führung der Lupe notwendige Holztäfelchen, das Bild in seiner ganzen Ausdehnung zu prüfen.

REICHARDT und STÜRENBURG[1] ersetzen die matte Scheibe durch eine Jodsilberplatte, welche sie folgendermaßen herstellen: Eine reine Glasplatte wird mit jodiertem Kollodium überzogen, in das Silberbad getaucht, mit Wasser abgewaschen und schließlich mit einer Lösung von Jodkalium übergossen, wodurch die Schicht ihre Lichtempfindlichkeit verliert. Nun wäscht man nochmals ab und läßt trocknen.

Die Mikrophotographen waren völlig mit Blindheit geschlagen, indem sie nicht merkten, daß jede künstlich hervorgebrachte Trübung des Glases die feine Einstellung erschwert. Feinste Einstellung läßt sich nur nach der von FRITSCH angegebenen Methode auf durchsichtiger Spiegelglasscheibe mit Hilfe der Einstellupe bewerkstelligen. Die Lupe muß hierbei so gestellt sein, daß ein auf der Unterseite der Scheibe eingeritztes Kreuz beim Aufsetzen der Lupe auf das Glas scharf erscheint. Das unbewaffnete Auge sieht auf der durchsichtigen Scheibe überhaupt nichts; will man über Lage, Größe und gröbere Einzelheiten des Bildes einen allgemeinen Überblick gewinnen, so ist die matte Scheibe einzusetzen.

Vor einigen Jahren empfahl FRANCOTTE[2], als Einstellscheibe eine durchsichtige Scheibe aus gelbem Glase zu verwenden, welche sowohl zu allgemeiner Orientierung über das Bild, wie zu feinster Einstellung mit Hilfe der Lupe verwendbar sei. Etwas Wahres liegt in dieser Behauptung, da die meisten gelben Gläser eigentlich sehr feine Mattscheiben sind. Der gelbe Farbstoff pflegt nämlich im Glase in Gestalt feiner Körner verteilt zu sein. Wer also durchaus mit einer Scheibe auskommen will, mag eine derartige Gelbscheibe benutzen; Mattscheibe und farblose, durchsichtige Scheibe werden hierdurch niemals verdrängt werden.

Auch alle anderen, neuerdings angegebenen Methoden zur Her-

[1]) A. a. O. S. 19.
[2]) Journal of the Royal Microscopical Society 1892 S. 270.

stellung von Scheiben mit feinster Mattierung sind für den Mikrophotographen wertlos.

Der Mikrophotograph kann sich leicht die Fertigkeit aneignen, die feine Einstellung nur mit der Lupe, ohne jede Scheibe, zu bewerkstelligen: Man hält die Lupe frei dorthin, wo sich sonst die Einstellscheibe befindet. Einige Millimeter mehr nach vorn oder nach hinten sind hierbei ganz gleichgültig, weil die Verhältnisse anders liegen, als bei Einstellung auf ein Porträt oder eine Landschaft.

Anstatt mit dem mikrophotographischen Apparat von Fritsch ihr Heil zu versuchen, hatte beinahe alle Jünger der mikrophotographischen Kunst nichts Eiligeres zu tun, als selbst einen „neuen“ Apparat zu konstruieren. Ein Ersetzen der Kamera durch ein Papprohr oder durch ein mit Zeug überzogenes Drahtgestell mußte als wichtige Neuerung herhalten. Es würde einen stattlichen Band füllen, wollten wir auf all die mitunter geradezu lächerlichen Ungetüme genauer eingehen, bei denen es zweifelhaft ist, ob man mehr die Unwissenheit oder den unpraktischen Sinn ihrer Verfertiger bewundern muß. Was soll man z. B. von den praktischen Erfahrungen eines Bézu, Hausser & Co.[1] halten, welche ein großes, vierbeiniges Ungetüm bauten, bei dem die Visierscheibe in eine Seitenwand eingelassen ist? Natürlich wird hierbei das Instrumentarium durch einen Spiegel in der Kamera vermehrt, welcher die Strahlen auf diese Scheibe wirft.

12

In einem wesentlichen Punkte wurde die von Fritsch getroffene Anordnung später noch verbessert: Selbst der lichtdichte Ärmel kann nämlich Erschütterungen der Kamera auf das Mikroskop übertragen und ein Verderben der Aufnahmen herbeiführen. Als vollkommenste, lichtdichte Verbindung zwischen Mikroskop und Kamera gilt daher jetzt diejenige, wo sich beide Teile überhaupt nicht berühren. Eine diese Forderung erfüllende Vorrichtung (Fig. 12) wurde von Zeiss angegeben: In eine am Tubus *T* angebrachte doppelte Kapsel *a* schiebt sich eine Hülse *b* ein, die ihrerseits genau auf ein am Stirnbrett *d* der Kamera befestigtes Rohr *c* paßt. Zeiss bewerkstelligte das Hineinschieben der Hülse in die Kapsel bei seinen älteren Apparaten mittels

[1]) Journal de Micrographie Bd. XIII S. 189.

Zahn und Trieb[1]. Jetzt verwendet man allgemein eine frei zu bewegende Schiebhülse.

Obgleich die an dem Apparate von Fritsch angebrachte Verlängerung der Mikrometerschraube mittels des Hookeschen Schlüssels allen Anforderungen genügt, so wurden doch, weil ein gut gearbeiteter Hookescher Schlüssel ziemlich teuer ist, in der Folgezeit verschiedene Versuche gemacht, diese Verlängerung auf anderem Wege zu bewerkstelligen. Sehr häufig brachte man neben der Kamera einen fest mit derselben verbundenen, um seine Achse drehbaren Metallstab an, der an seinem dem Mikroskop zugekehrten Ende ein für Schnurlauf eingerichtetes Rädchen trägt; der Kopf der Mikrometerschraube ist durch ein gleiches Rädchen ersetzt. Beide Räder werden nun durch eine Schnur derart verbunden, daß jede Drehung des Metallstabes eine Drehung der Mikrometerschraube zur Folge hat. Abgesehen davon, daß hierdurch Erschütterungen der Kamera leicht auf das Mikroskop sich übertragen, hat diese Anordnung noch den Nachteil, daß die Schnur einen seitlichen Zug auf den Tubus ausübt, wodurch die feinste Einstellung bei Anwendung starker Objektive erschwert wird.

H. W. Walmsley suchte auf anderem Wege zum Ziele zu kommen: Er legte um den Kopf der Mikrometerschraube eine Schnur und leitete dieselbe über zwei, rechts und links vom Fuß des Mikroskops angebrachte Rollen längs der Kamera bis zur Einstellscheibe. Wenn die Mikrometerschraube leichten Gang hat, so kann man bei Anwendung schwacher Objektive hiermit einstellen. Bei starken Objektiven, wo es auf geringfügigste Drehungen der Schraube ankommt, ist dieser Schnurlauf nicht zu brauchen. Hier wirkt auch der seitliche Zug, den das Mikroskop erleidet, äußerst nachteilig.

Im Jahre 1885 konstruierte Verf.[2] eine Verlängerung der Mikrometerschraube (Fig. 13), welche auch bei stärksten Objektiven feinste Einstellung gestattet: Zwei längs der Kamera über Rollen *a* gleitende Schnüre *b* stehen mit einem zangenartigen Instrument *c*-*d* in Verbindung, welches man am Kopf der Mikrometerschraube *e* festklemmt. Der Stiel der Zange *c* besteht aus leichtem Holz, der obere Teil *d* aus Metall. Es leuchtet ein, daß jeder Zug an den Schnüren *b* eine geringfügige Drehung der Mikrometerschraube zur Folge hat. Die

[1]) Zeiss, Katalog über Mikroskope und mikroskopische Hilfsapparate S. 68. Jena 1885.

[2]) Neuhauss, R., Anleitung zur Mikrophotographie S. 8. Berlin 1887, Klönne & Müller.

Erfahrung lehrt, daß man mit Hilfe dieser fast kostenlosen Vorrichtung selbst bei Anwendung stärkster Immersionen überaus fein einstellen kann. An Stelle der zangenartigen Klemme (*d-d*) läßt sich auch ein Ring verwenden, welcher mit Hilfe einer Schraube am Kopfe der Mikrometerschraube festgeklemmt wird.

Bevor man die Zange an die Mikrometerschraube anklemmt, muß, da unsere Vorrichtung etwa nur eine Viertelumdrehung der Schraube gestattet, das Bild auf der Visierscheibe leidlich scharf eingestellt sein. Man erreicht dies ohne Schwierigkeit, indem man nach Zusammensetzung des Apparates durch Vorwärts- oder Rückwärtsdrehen der Mikrometerschraube so lange probiert, bis leidliche Schärfe auf der Scheibe erzielt ist. Trägt die Mikrometerschraube oben einen kurzen zylinderförmigen Fortsatz, so läßt sich zur groben Einstellung auch folgendermaßen verfahren: Man zieht über diesen Fortsatz ein etwa fingerlanges, eng anschließendes Stück Gummischlauch und steckt in das freie Ende des letzteren einen Holzstab derart, daß das Ende dieses Stabes den soeben erwähnten Fortsatz berührt. Obgleich nun (wegen der vorgelagerten Kamera) dieser Holzstab mit der Achse der Mikrometerschraube einen Winkel bildet, so folgt die Schraube doch willig jeder Drehung des Stabes. Nach erzielter grober Einstellung wird der Schlauch abgezogen und die Zange mit den Schnüren angesetzt.

13

Beim Arbeiten mit schwachen Objektiven ist übrigens der Holzstab mit dem Gummischlauch für beste Einstellung vollständig ausreichend. Verfasser ersetzte auch den kurzen Gummischlauch durch eine am Holzstabe befestigte, kurze, an ihrem freien Ende mit der Kneifzange etwas plattgedrückte Metallröhre. Dem ursprünglich zylinderförmigen Fortsatze am Kopfe der Mikrometerschraube wurde durch Feilen viereckige Form gegeben, derart daß sich die plattgedrückte Metallröhre leicht darüber stülpen läßt. Diese Vorrichtung hat vor dem mit Gummischlauch versehenen Holzstabe den Vorzug, daß sie sich schnell ansetzen und wieder abnehmen läßt. Wer es

nicht selbst ausprobierte, wird nicht glauben, wie leicht man, selbst bei mittelstarken Objektiven, mit dieser überaus einfachen Vorrichtung scharf einstellen kann.

Die in Fig. 13 dargestellte Schnurlaufübertragung kommt nur dann voll zur Geltung, wenn Kamera und Mikroskop auf getrennten Untersätzen aufgestellt sind, man also bei hinreichend langem Hebelarm (*c*) die Schnur unterhalb der Kamera bis zur Einstellscheibe leiten kann. Man faßt dann, während die rechte Hand die Einstelllupe führt, mit der linken Hand beide Schnüre, in derselben Art, wie der Kutscher die Leinen.

Der von Jeserich[1] empfohlene Schnurlauf setzt an einem Rade an, dessen wagerechte, mit Schraube ohne Ende versehene Achse den gezahnten Kopf der Mikrometerschraube bewegt. Ein Zahnrad, welches man bei diesen billigen Hilfsmitteln gern vermeiden will, wird hier also notwendig.

Bei Mikroskopen, welche eine besondere Schraube für grobe Einstellung haben, will Stenglein[2] auch diese durch Schnurlauf in Bewegung setzen.

G. Marktanner-Turneretscher[3] ersann eine Verlängerung der Mikrometerschraube, welche mit der Schnurlaufübertragung (Fig. 13) gewisse Ähnlichkeit hat. Die an den Hebel *c* ansetzenden Schnüre sind durch ein schwaches, bis zur Visierscheibe führendes und mit dem Hebel *c* durch Gelenk verbundenes Stäbchen ersetzt.

Im Jahre 1885 richtete sich das Bestreben des Verfassers darauf, Kamera und Mikroskop in noch vollkommenerer Weise zu trennen, als dies schon durch Fritsch geschehen war. Zu diesem Zwecke wurden Mikroskop und Kamera je auf gesondertem Tisch aufgestellt. Man könnte vielleicht glauben, dies sei übertriebene Ängstlichkeit; und in der Tat: Wer nur mit schwachen und mittelstarken Trockensystemen arbeitet, mag getrost Kamera und Mikrokop auf denselben Tisch stellen, oder gar auf demselben Laufbrett anbringen. Anders jedoch, wenn man mit Immersionen zu tun hat; hier kann die Trennung beider Teile nicht peinlich genug durchgeführt werden.

Fernerhin könnte man einwerfen, daß Erschütterungen, welche der die Kamera tragende Tisch erleidet, sich doch durch den Fußboden auf den Tisch übertragen, auf dem das Mikroskop steht. Dies

---

[1]) Jeserich, Die Mikrophotographie S. 133. Berlin 1888.

[2]) Zentralblatt f. Bakteriologie u. Parasitenkunde Bd. III, 1888, No. 15.

[3]) Marktanner-Turneretscher, G., Die Mikrophotographie als Hilfsmittel naturwissenschaftlicher Forschung S. 45. Halle 1890, Knapp.

ist jedoch, wie die Erfahrung lehrt, nicht zutreffend. Eingehende, vom Verfasser vorgenommene Versuche bewiesen, daß selbst starke, gegen den Kameratisch geführte Stöße im Mikroskop sich auch dann nicht störend bemerkbar machen, wenn der ganze Apparat ohne besondere Schutzvorrichtungen auf gewöhnlichem Fußboden steht.

Die Aufstellung auf zwei Tischen bringt überdies die große Annehmlichkeit mit sich, daß man alle Verrichtungen am Mikroskop vor diesem sitzend in Ruhe und Bequemlichkeit ausführen kann. Nur muß das trichterförmige, am Stirnbrett der Kamera anzubringende, leicht abnehmbare Zwischenstück eine Länge von wenigstens 35 cm haben. Stehen Mikroskop und Kamera auf demselben Tisch, so ist das Seitwärtsbiegen des Kopfes, welches notwendig wird, um in den Tubus hineinzublicken, auf die Dauer in hohem Grade ermüdend.

In der zweiten Hälfte der achtziger Jahre kam Dr. R. Zeiss bei seinen Bemühungen, ein für alle Zwecke brauchbares Instrument herzustellen, zu genau dem gleichen Resultat[1]. Er ordnete beide Teile mit ihrem Zubehör, jeden für sich, auf besonderem Stativ an, um sie nur während der Aufnahme lichtdicht zu verbinden.

Die unermüdlich vorwärts strebende Firma Carl Zeiss (Jena) begnügte sich nicht damit, die Gesamtanordnung des mikrophotographischen Apparates zu vervollkommnen; auch jeder einzelne Teil wurde in sorgfältigster Weise durchgearbeitet und verbessert. Verbesserungsbedürftig war vor allem das Mikroskopstativ. Legt man ein Stativ zum Zwecke der mikrophotographischen Aufnahme um, so verharrt dasselbe nicht genau in dieser Lage; es finden Durchbiegungen statt, welche eine Veränderung der Einstellung zur Folge haben. Erst nach längerem Stehen kommt das Stativ in endgültige Ruhelage; nach jedem Aufrichten beginnt jedoch das Spiel von neuem. Natürlich darf man nicht exponieren, bevor nicht die Ruhelage eingetreten ist. Diese Verhältnisse sind im wesentlichen darin begründet, daß der Oberbau des Mikroskops in nur lockerer Verbindung mit dem Unterbau steht, denn mit Hilfe der Mikrometerschraube läßt sich der Oberbau gegen den Unterbau verschieben. Ganz allgemein besteht nun die Gewohnheit, das Mikroskop, sobald es getragen wird, an seiner empfindlichsten Stelle zu fassen, an der durch die Mikrometerschraube verschiebbaren Säule. Hierdurch muß eine Lokerung der Teile eintreten, welche zu den geschilderten Durchbiegungen Veranlassung gibt. Zeiss verlegte also die Mikrometerschraube an eine günstigere Stelle und richtete die Anordnung derart ein, daß

[1]) Zeiss, Spezialkatalog über Apparate für Mikrophotographie. Jena 1888.

14

man das Stativ beim Tragen so fassen muß, daß die empfindlichen Teile in keiner Weise beansprucht werden (Fig. 14). Noch weitere Verbesserungen zeigt das neue Stativ: Der drehbare und durch Mikrometerschrauben bewegbare Tisch ist so groß, daß die größten Präparate, selbst ganze Hirnschnitte, auf demselben Platz finden. Auch die Tischöffnung ist ungewöhnlich groß, für Benutzung ganz schwacher Objektive mit außergewöhnlich großem Gesichtsfeld. Fernerhin hat der Tubus den Durchmesser von 5 cm, was zur Vermeidung von Reflexen und zur leichten Anbringung der Projektionssysteme (Mikroplanare usw.), welche ohne Okular zur Verwendung gelangen, besonders vorteilhaft bleibt. Endlich ist die Konstruktion der Mikrometerbewegung anders als früher und ermöglicht feinere und langsamere Einstellung. Dies wurde durch eine eigenartige Verbindung von Schnecken- und Zahntrieb erreicht.

Mit diesem Stativ kann man bald nach dem Umlegen die schwierigsten Aufnahmen machen. Störende Durchbiegungen und sonstige Lageveränderungen treten schon nach kurzer Zeit nicht mehr auf. Dasselbe wurde von allen größeren optischen Firmen mit unwesentlichsten Abänderungen nachgebaut.

Fig. 15 zeigt den Kamerateil des großen mikrophotographischen Apparates von Zeiss in seinen neuesten Verbesserungen. Die Anordnung des Mikroskopteiles bei diesem Apparate entspricht derjenigen in Fig. 17, nur daß Mikroskop und optische Bank — eine starke Metallschiene — auf solidem eisernen Tische stehen, welcher demjenigen ähnelt, auf dem die Kamera sich befindet (Fig. 15). Die Anordnung des Hookeschen Schlüssels wird durch Fig. 16 veranschaulicht. Hier ist ferner nach Herausnahme des Mikroskoptubus ein Mikroplanar eingesetzt, welches zu Aufnahmen in ganz schwachen Vergrößerungen, ohne Benutzung eines Okulares, dient.

Zum Zwecke der Aufnahme wird die Kamera dem Mikroskop derart genähert, daß die in Fig. 13 auf Seite 22 beschriebene, lichtdichte Verbindung beider Teile zustande kommt. Die gesamte Balgenlänge beträgt 1,5 m; sie läßt sich durch Zusammenschieben beliebig verkürzen. Natürlich muß die Kamera mit ihrem Stativ in der optischen Achse des Mikroskops aufgestellt sein.

Bei den früheren Modellen hatte Zeiss die Einrichtung getroffen, daß die vordere Hälfte der Kamera sich aufklappen und sowohl in senkrechter, wie in jeder schiefen Stellung fixieren ließ. Neuerdings sah man von dieser Anordnung ab, weil der Apparat hierbei nicht die nötige Festigkeit besitzt. Wer jetzt Aufnahmen mit der senkrechten Kamera machen will, muß die hierfür eigens konstruierten

Modelle oder die sogleich zu beschreibende Horizontal-Vertikal-Kamera (Fig. 17 u. 18) benutzen.

17

Die Kamera ist für Kassetten von 24 $\times$ 24 cm Bildgröße eingerichtet. Bei Einlage von Rahmen lassen sich auch Platten von beliebig geringerer Größe verwenden.

Zwei Einstellscheiben, von denen eine mattgeschliffene für oberflächliche Orientierung über das Bild, die andere, durchsichtig und auf der Mikroskopseite mit Diamantstrichkreuz versehen, für feine

16

Einstellung des Bildes mittels einer Lupe dient, vervollständigen die Einrichtung. Eine besondere Kassette dient zur Ermittelung der besten Expositionszeit; hier wird die lichtempfindliche Platte hinter einem spaltförmigen Ausschnitt mittels einer Handhabe um stets gleiche

Beträge, deren Größe durch Einschnappen einer Feder in eine Nut markiert wird, verschoben, so daß auf ihr nebeneinander Bilder desselben zentralen Teiles des Objektes entstehen.

Der große mikrophotographische Apparat von Zeiss fand wegen seines hohen Preises hauptsächlich in den mit reichen Mitteln ausgestatteten Instituten Eingang. Um auch denjenigen Mikrophotographen, welche so viel Geld nicht anlegen können, ein erstklassiges Instrument zu bieten, konstruierte Zeiss seine Horizontal-Vertikal-Kamera (Fig. 17 u. 18). Aus Ersparnisrücksichten wurde hier allerdings auf einen der Vorzüge des großen Apparates verzichtet: auf vollständige Trennung von Kamera und Mikroskop. Schon früher wiesen wir darauf hin, daß diese Trennung nur dann eine wesentliche Rolle spielt, wenn es sich um Aufnahmen mit starken Objektiven, insbesondere mit Immersionen handelt.

17

Stehen Kamera und Mikroskop auf demselben Gestell, so muß der Mikrophotograph doppelt vorsichtig arbeiten. Wenig empfehlenswert ist es z. B. wenn er, wie dies Verfasser in seinen mikrophotographischen Kursen erlebte, aus Zeitvertreib während der

Exposition mit den Fingern auf dem Tisch herumtrillert oder mit den Stiefeln rhythmische Bewegungen gegen die Tischfüße ausführt. Ferner-

18

hin müssen alle Teile des mikrophotographischen Apparates aufs sorgfältigste gearbeitet sein: Die Kassette darf sich beim Einschieben in

die Kamera ebensowenig klemmen, wie der Schieber beim Öffnen der Kassette. Alle beweglichen Teile müssen völlig erschütterungslos gleiten und unbeweglich in ihrer Ruhelage verharren. Die Apparate unserer ersten Firmen entsprechen diesen Bedingungen; der Mikrophotograph kann sich ihnen anvertrauen und es wäre daher falsch,

19

durch eine komplizierte Vorrichtung, wie sie RIES[1] vorschlägt, und wodurch das Ganze nur wackliger wird, eine Trennung herbeizuführen.

Bei all diesen Apparaten verfolgte man den Zweck, Aufnahmen mit wagerechter und senkrechter Kamera zu ermöglichen. Die Hori-

---

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. XXI S. 475.

zontal-Vertikal-Kamera von ZEISS (Fig. 17 u. 18) wurde für diese Instrumente vorbildlich: Auf einer schweren, gußeisernen Grundplatte ruht, um ihre senkrechte Achse drehbar, die mittels dreier Stellschrauben verstellbare Fußplatte für das Mikroskop. Auf dieser Fußplatte wird das Mikroskop so angebracht, daß bei senkrechter Stellung seine optische Achse mit der Drehungsachse der Fußplatte zusammenfällt. Mikroskop samt Fußplatte sind um 90° beiderseits von der Mittelstellung um die optische Achse drehbar. Das hintere Ende der Grundplatte trägt in Scharnier beweglich die mit Zentimeterteilung versehene, 1,10 m lange, zylindrische Führungsstange für die Kamera. Beide Enden der Kamera sind in Hülsen an der Führungsstange verschiebblich und werden durch seitliche Schrauben festgeklemmt. Eine tiefe Nut sichert die Kamera gegen Drehungen. Fig. 17 veranschaulicht außerdem die Anwendung des Bandmaßes zum Einstellen der Projektionsokulare, worüber wir später sprechen werden. Die Kamera kann mit ihrer Führungsstange in drei verschiedenen Lagen fixiert werden: In wagerechter Stellung wird sie, eine wagerechte Unterlage vorausgesetzt, durch den am Ende der Stange angebrachten Stift gehalten; die senkrechte Stellung wird durch einen Ausschlag am vorderen Ende der Stange gewährleistet; außerdem kann sie um 45° geneigt und in dieser Lage durch einen Stift festgeklemmt werden (Fig. 18). Letztere Stellung hat den

20

Zweck, die Okularbeobachtung an dem senkrecht stehenden Mikroskop zu erleichtern. Die optische Bank besteht aus einer Metallschiene.

Die größeren optischen Werkstätten bauten die Horizontal-Vertikal-Kamera mit einigen Abänderungen nach. Fig. 19 veranschaulicht das Modell, welches Winkel (Göttingen) in den Handel bringt, Fig. 20 u. 21 dasjenige von Leitz (Wetzlar). Ähnlich ist der Apparat von C. Reichert (Wien).

Da es nicht in dem Plane dieses Werkes liegt, alle die ungezählten mikrophotographischen Apparate, welche im Laufe der Jahrzehnte empfohlen wurden und die sich nur durch Gott weiß

21

welche Nebensächlichkeiten voneinander unterscheiden, zu beschreiben, so können wir es bei den im Vorhergehenden aufgeführten Instrumenten bewenden lassen. Es sind damit der Hauptsache nach diejenigen Apparate namhaft gemacht, welche entweder einen besonderen geschichtlichen Wert besitzen, oder durch ihre Eigenart auf die Entwicklung der Mikrophotographie einen bestimmenden Einfluß ausübten, oder als Vertreter besonderer Gruppen gelten müssen.

Absichtlich erwähnten wir bei Darstellung der geschichtlichen Entwicklung des mikrophotographischen Apparates nichts von solchen Konstruktionen (es ließen sich ganze Bände damit füllen), welche von vornherein den Stempel der Unbrauchbarkeit auf der Stirn tragen, oder zum mindesten eine überflüssige Erhöhung der An-

schaffungskosten herbeiführen. Nicht unerwähnt möge bleiben, daß Woodward, einer der ausgezeichnetsten Mikrophotographen in Amerika, sich zu seinen Aufnahmen eines verdunkelten Zimmers bediente. In die Fensterladen sind rote Scheiben eingesetzt, welche chemisch unwirksames Licht einlassen. Das Mikroskop ruht auf dem Fensterbrett und erhält sein Licht durch eine kleine Öffnung in den Fensterladen. Der Tubus ragt wagerecht frei in das Zimmer hinein (Fig. 22). Der Rahmen, welcher die Visierscheibe und während der Aufnahme die empfindliche Platte trägt, ist auf einem Gestell befestigt, das mit

22

Rollen auf einer drei Meter langen Bahn von zwei parallelen, in den einander gegenüber liegenden Wänden des Zimmers eingelassenen, eisernen Schienen hin- und hergeschoben und an jeder beliebigen Stelle mittels einer Klemme angehalten werden kann. Mitten zwischen den beiden Schienen und parallel mit ihnen verläuft eine gerade eiserne Welle, deren Enden sich in Lagern drehen. Auf diese Welle ist ein konisches Zahnrad aufgesteckt, welches einen Zapfen besitzt, der in eine der ganzen Länge nach in die Welle eingestoßene Nute paßt. Man kann daher das Rad von einem Ende der Welle bis zum andern hinschieben, aber nicht um seine Achse drehen, ohne zugleich die Welle mit in Drehung zu versetzen. In die Zähne dieses senk-

recht stehenden Rades greifen diejenigen eines andern, wagerechten ein, dessen senkrechte Welle durch passend angebrachte Führungen an dem verschiebbaren Untergestell der Visierscheibe hindurchgeht. Eine Klammer hält die beiden konischen Zahnräder bei allen Verschiebungen des Gestelles der Visierscheibe zusammen, so daß eine Drehung an dem breiten Knopfe der senkrechten Welle jederzeit eine Drehung der langen wagerechten Welle zur Folge hat. Am vorderen Ende der letzteren, also unter dem Fensterbrett, welches das Mikroskop trägt, ist ein mit Rille versehenes kleines Rad befestigt, das durch Schnurlauf mit einem entsprechenden Rade am Kopfe der Mikrometerschraube in Verbindung steht.

Die grobe Einstellung des Bildes auf der frei stehenden matten Glasplatte nimmt der Photograph noch am Mikroskop stehend vor und begibt sich dann an das Gestell der Visierscheibe, um von hier aus die feine Einstellung zu bewerkstelligen[1].

Irgendwelche Bedeutung ist diesem Zimmerapparat, welcher auf die ersten Anfänge der Mikrophotographie (vgl. Seite 1) zurückgreift, nicht beizumessen. Es erscheint kaum glaublich, daß es gelingt, mit dieser überaus verwickelten Verlängerung der Mikrometerschraube scharf einzustellen; doch hat Woodward bewiesen, daß man selbst mit solchen Einrichtungen gute Photogramme fertigen kann.

Die mikrophotographischen Apparate, welche man für besondere Zwecke, z. B. zu Augenblicks-, spektroskopischen und stereoskopischen Aufnahmen konstruierte, sollen erst an späterer Stelle (Abschnitt V) besprochen werden, da zum Verständnis derselben Vorkenntnisse über Objektive, Okulare, die Lichtquellen und die Beleuchtung erforderlich sind.

2. Allgemeine, bei Anschaffung eines mikrophotographischen Apparates maßgebende Gesichtspunkte

Nachdem wir die hauptsächlichsten Formen der mikrophotographischen Apparate kennen gelernt haben, wollen wir die Anforderungen, die an einen guten Apparat zu stellen sind, noch einmal kurz durchsprechen und einige Fingerzeige geben, die bei Anschaffung derartiger Instrumente vielleicht von Nutzen sind.

Das Angebot mikrophotographischer Apparate ist gegenwärtig so groß, daß es schwer fällt, überhaupt eine Wahl zu treffen. Wer

[1]) Beale, How to work with the microscope. 4. ed. London 1868.

über bedeutende Mittel verfügt, wird nicht einen Augenblick zögern, den großen Apparat von Zeiss zu kaufen. Derselbe ist bis in alle Einzelheiten aufs sauberste ausgeführt, besitzt alle Verbesserungen, welche die Neuzeit brachte, genügt mit einem Worte den höchsten Anforderungen, aber er kostet mit Zubehör, ohne Objektive und Okulare, rund 1200 Mark. Eine etwa gleich große Summe ist erforderlich zur Anschaffung der Apochromat-Objektive und Okulare, so daß also 2500 Mark verfügbar sein müßten. Aus diesem Grunde kommt der Apparat von Zeiss hauptsächlich für reich bemittelte Institute in Frage.

Wer weniger mit Glücksgütern gesegnet ist, aber nicht alle Geduld und Ausdauer bei der Arbeit verlor, wird vielleicht wertvollere Mikrophotogramme, als sein mit den besten Hilfsmitteln arbeitender Kollege zuwege bringen, wenn er sich einen besonderen mikrophotographischen Apparat überhaupt nicht anschafft. Man kann mit einem guten Mikroskop und der einfachen Turistenkamera auskommen. Verfasser verfährt seit 20 Jahren folgendermaßen: Ein Stativ mit umlegbarem Fuß wird auf einem Tisch festgeschraubt, dessen Platte die optische Bank darstellt. Die Turistenkamera (Format 13×21 cm) wird auf einem schweren, einfachen Stativ, wie solches die Photographen bei ihren Aufnahmen im Atelier benutzen, befestigt und in etwa 50 cm Entfernung vom Tubusende aufgestellt. Ein weites Papprohr, das sich am Stirnbrett der Kamera leicht ansetzen und ebenso leicht wieder abnehmen läßt, vermittelt die Verbindung von Kamera und Mikroskop. Der Lichtabschluß wird auf die in Fig. 12 dargestellte Weise, die Verlängerung der Mikrometerschraube durch Schnurlauf (Fig. 13) bewerkstelligt.

Mag man sich eine neue Kamera kaufen, oder eine alte durch Verlängerung auf $^3/_4$ bis $1^1/_2$ Meter (Balgen unter $^3/_4$ Meter legen in der Vergrößerung zu große Beschränkungen auf) für die Mikrophotographie brauchbar machen, immer ist genau darauf acht zu geben, daß durchaus kein Nebenlicht auf die Platte gelangt und der Balg in allen seinen Teilen genügend weit ist, um Reflexion an den Wänden auszuschließen. Blickt man in den zur Aufnahme fertig vorbereiteten Apparat, so darf nur im Grunde der Kamera ein einziger, hell leuchtender Punkt, das vom Objektiv kommende Lichtbündel, sichtbar werden, während alles übrige in tiefste Dunkelheit gehüllt bleibt, gleichgültig, ob die Kamera in ihrem Innern weiß oder schwarz angestrichen ist. Die allgemein übliche Schwärzung hat nur insofern Bedeutung, als sie das von der Platte reflektierte Licht unschädlich macht. Soll der Apparat auch für starke Objektive Verwendung finden, so darf Kamera und Mikroskop nicht auf demselben Laufbrett befestigt

werden. Das Beste ist, beide Teile auf gesondertem Tisch aufzustellen. Zur Einstellung dient eine matte Glasplatte **und** eine durchsichtige Spiegelscheibe, erstere zur allgemeinen Orientierung über Lage und Größe des Bildes, letztere zur feinen Einstellung. Als Verbindung zwischen Kamera und Tubus kommt nur die in Fig. 12 dargestellte Vorrichtung, als Verlängerung der Mikrometerschraube nur der **frei** neben der Kamera liegende HOOKEsche Schlüssel, oder, wo es sich um möglichste Geldersparnis handelt, der Schnurlauf (Fig. 13) in Frage.

Die großen Mikroskopstative sind, wofern sie nicht nach dem in Fig. 14 dargestellten Typus gebaut wurden, für mikrophotographische Zwecke weniger geeignet, als die kleineren, und zwar lediglich ihres größeren Gewichtes wegen. Ist mit nicht allzu schwachem Objektiv auf der Visierscheibe scharf eingestellt, so wird man die unangenehme Wahrnehmung machen, daß schon nach kurzer Zeit die Schärfe des Bildes zu wünschen übrig läßt. Die einzelnen Metallteile des Stativs haben, begünstigt durch die wagerechte Lage, wenn auch nur geringfügig, ihre gegenseitige Stellung geändert und dabei den Abstand des Objektivs vom Objekt vergrößert oder verringert. Erst nach längerer Zeit, mitunter nach stundenlangem Stehen des Apparates, tritt Stillstand ein; aber das Auswechseln des Präparates gegen ein anderes genügt, um wiederum freiwillige Veränderung der Einstellung ins Werk zu setzen. Dieser ein erfolgreiches Arbeiten so sehr beeinträchtigende Fehler haftet wie gesagt den größeren, schweren Stativen in höherem Maße an, als den kleineren. Aus diesem Grunde kann nicht dringend genug geraten werden, für Mikrophotographie nur solche Stative zu benutzen, welche dem Typus von Fig. 14 (S. 25) entsprechen.

Nicht wenig Stative aus optischen Werkstätten zweiten und dritten Ranges sind so mangelhaft gearbeitet und so unsauber ausgeführt, daß jedes Gelenk und jede Hülse schlottert. Mit einem derartigen Instrument wird man niemals Brauchbares zustande bringen.

Ein wichtiger Punkt ist ferner die genau senkrechte Stellung der Tubusachse zur Ebene des Objekttisches. Hierin lassen beinahe alle Stative, welche nicht besonders für mikrophotographische Zwecke gearbeitet sind, zu wünschen übrig. Dieser Fehler macht sich in den Bildern dadurch kenntlich, daß die eine Hälfte weniger scharf erscheint, als die andere. Abhilfe schafft nur Zurücksenden des Stativs an den Mechaniker und genaues Richten des Objekttisches.

Mikroskope mit weitem Tubus, wie sie zuerst FRITSCH und dann ZEISS empfahlen, verdienen für unsere Zwecke stets den Vorzug vor den gewöhnlichen engen Rohren, weil die an den Seitenwänden ent-

stehenden Reflexe sich bei der Photographie weit unangenehmer bemerkbar machen, als bei der Okularbeobachtung, und Blenden, die man in den Tubus einsetzt, die Beschaffenheit und Ausdehnung des Bildes beeinflussen. Schwärzen der Innenwand bleibt ein ungenügender Notbehelf.

Ist leichter Gang der Mikrometerschraube schon bei der Okularbeobachtung ein nicht zu unterschätzender Vorteil, so wird derselbe bei photographischen Arbeiten um so wertvoller, als er die feinste Einstellung auf der Visierscheibe ungemein erleichtert. Vor allen Dingen muß toter Gang der Schraube ausgeschlossen sein.

Eine Kreisteilung des Schraubenkopfes der Mikrometerschraube ist wünschenswert, weil es mitunter von Wichtigkeit ist, die Hebung und Senkung des Tubus genau zu messen.

Da bei den neuen Objektiven sorgfältiges Einhalten der vorgeschriebenen Tubuslänge Bedingung zum Gelingen des Bildes ist, so wird man denjenigen Stativen den Vorzug geben, welche entweder die erforderliche Tubuslänge (160 mm) haben oder einen mit Maßstab versehenen Auszug besitzen.

23

Von großer Annehmlichkeit ist eine leicht zu handhabende und sicher wirkende Vorrichtung zum schnellen Auswechseln der Objektive. Die bisher allgemein üblichen Revolvervorrichtungen sind für die Mikrophotographie nicht zu brauchen, da infolge von mangelhafter Zentrierung derselben das Präparat nach jedem Auswechseln verschoben werden müßte. Um dies zu vermeiden, konstruierte Zeiss einen Schlittenobjektivwechsler[1] (Fig. 23), bei dem die Zentrierung so vollkommen ist, daß die Mittelpunkte der Gesichtsfelder genau auf denselben Punkt des Präparates fallen.

Wir dürfen nicht unterlassen, noch zwei Hilfsapparate zu besprechen, welche dem Mikrophotographen die Arbeit recht erleichtern:

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. IV, 1887, S. 293.

den beweglichen Objekttisch und den Markierapparat. Handelt es sich bei starken Objektiven darum, einen am Rande des Sehfeldes befindlichen Punkt des Präparates in die Mitte zu bringen, so ist dies, soll es mit der Hand auf unbeweglichem Objekttisch ausgeführt werden, eine starke Geduldprobe. Überdies wird die systematische Durchmusterung von Präparaten, welche sich oft als notwendig erweist, um die beste Stelle des Objektes für die Aufnahme herauszusuchen, durch den beweglichen Tisch erleichtert. Endlich ermöglicht letzterer die schnelle Wiederanfindung einer bestimmten Stelle — bei den häufigen Wiederholungen photographischer Aufnahmen ebenfalls ein nicht zu unterschätzender Vorteil. Der Objekttisch der großen Stative besitzt der Regel nach eine durch Mikrometerschrauben bewerkstelligte Kreuzbewegung. Wo dies nicht der Fall ist, lassen sich Vorrichtungen dieser Art, welche jede größere optische Werkstätte herstellt, leicht anbringen.

Gilt es, eine bestimmte Stelle im Objekt derart kenntlich zu machen, daß auch ein anderer dieselbe leicht wiederfinden kann, so tritt der Markierapparat in seine Rechte. Fig. 24 zeigt einen solchen, wie ihn R. Winkel in Göttingen liefert. Mit demselben werden die im Präparat kenntlich zu machenden Stellen durch kleine, mittels einer Diamantspitze in das Deckglas zu ritzende Kreise bezeichnet. Zum Gebrauch schraubt man, nachdem die zu markierende Präparatstelle in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht und der Objektträger durch Klammern festgelegt ist, das Objektivsystem vom Tubus ab und ersetzt es durch den Markierapparat, gibt *h* durch Drehen der Schraube *f* eine dem gewünschten Kreisdurchmesser entsprechende Stellung und senkt den Tubus so weit, daß der Schraubenstift *m* in seinem Schlitze etwas gehoben wird. Dann drückt die Hülse *Dih* mit ihrem Gewicht die Spitze auf das Deckgläschen. Dreht man nun die Drehhülse *C* einmal um sich selbst, so ritzt *h* einen zarten Kreis in das Deckglas, in dessen Mittelpunkt sich die zu

24

markierende Stelle befindet[1]. Eine ganz ähnliche Vorrichtung fertigt auch Fuess[2].

Den Wert einer derartigen Vorrichtung lernt man erst schätzen, wenn man, wie Verf. dies zu wiederholten Malen erlebte, Präparate zur photographischen Aufnahme zugesendet erhält, in denen, trotz beigefügter Zeichnungen, die abzubildende Stelle nicht aufzufinden ist.

3. Die Aufstellung des mikrophotographischen Apparates

Zum Gelingen der Aufnahmen ist die Aufstellung des mikrophotographischen Apparates auf fester Unterlage in einem vor Erschütterungen geschützten Raume unbedingt notwendig.

Zeiss[3] stellt seinen Apparat in einem zur ebenen Erde gelegenen Zimmer eines sonst unbewohnten Hauses auf zwei in den Boden eingelassene Steinplatten. Die Dielen sind mit dem Fundament nicht in Berührung; man kann daher selbst während der Exposition unbeschadet im Zimmer umhergehen.

Eine derart zweckmäßige Einrichtung werden sich nur die wenigsten Mikrophotographen schaffen können. Die Mehrzahl bleibt angewiesen auf eine in belebter Straße gelegene Wohnung, welche durch Hin- und Herlaufen der übrigen Hausgenossen, durch Zuschlagen der Türen und Rollen vorüberfahrender Wagen beständig in Schwingungen versetzt wird. Bei nötiger Vorsicht läßt sich jedoch auch unter solchen Verhältnissen Treffliches leisten.

Im allgemeinen gilt folgendes als Regel: Die durch Bewegung schwerer Gegenstände auf Hof und Straße hervorgerufenen Erschütterungen machen sich in den oberen Stockwerken der Gebäude am meisten bemerkbar. Man wird deshalb wenn möglich einen in den unteren Geschossen gelegenen Raum als Arbeitszimmer wählen. Hierbei fällt nun wieder der Umstand ins Gewicht, daß bei hohen gegenüberliegenden Häusern die so wünschenswerte Benutzung des Sonnenlichtes in den unteren Stockwerken entweder nicht oder nur an einem kleinen Teil des Tages möglich wird. Um Sonnenschein in ausgiebiger Weise verwenden zu können, sollte das Fenster des

---

[1]) Behrens, Kossel und Schiefferdecker, Das Mikroskop S. 49. 1889.

[2]) Neues Jahrbuch für Mineralogie 1895 Bd. I S. 280.

[3]) Zeiss, Spezialkatalog 1888 S. 8.

Arbeitszimmers nach Süden gelegen sein; doch das sind fromme Wünsche, die sich in der Großstadt oft bei dem besten Willen nicht erfüllen lassen.

Wer in einem hart an belebter Straße gelegenen Zimmer mikrophotographische Aufnahmen macht, wird selten zu befriedigenden Resultaten gelangen. Ein möglichst von der Straße entfernt gelegener Raum bleibt stets vorzuziehen.

Von den im Gebäude selbst vorhandenen Ursachen der Erschütterung sind diejenigen die nachteiligsten, welche in dem über dem Arbeitszimmer gelegenen Raume wirken. Ein Hin- und Hergehen daselbst hat ununterbrochene Schwingungen des Mikroskops zur Folge, und zwar macht sich dies um so mehr bemerkbar, je größer das Zimmer ist. Aus diesen Gründen sieht sich der Mikrophotograph häufig gezwungen, sein zeitraubendes, mühevolles Werk erst zu beginnen, wenn die Ruhe der Nacht einkehrt.

Sehr zu empfehlen ist die Unterlage einer dreifachen Schicht von dickem Filz unter die Füße der Gestelle und Tische, welche Mikroskop und photographische Kamera tragen. Leichte Erschütterungen des Fußbodens werden hierdurch unschädlich gemacht. Freilich schützt auch dies Mittel nicht gegen das Erbeben des ganzen Gebäudes, welches durch vorüberfahrende Lastwagen erzeugt wird. Zu den für den Mikrophotographen unangenehmsten Errungenschaften der Neuzeit gehören in den Städten die elektrischen Straßenbahnwagen, welche die Gebäude erzittern machen. Hier hilft häufig nur eine Vorrichtung, deren sich die Reproduktionsanstalten bedienen, wenn ihre Räume nicht erschütterungsfrei sind: Die Apparate werden auf großen Holzgestellen angebracht, die auf Federn ruhen. In amerikanischen Städten macht man ganze Ateliers in dieser Weise erschütterungsfrei.

Der Standort des Apparates im Zimmer muß so gewählt werden, daß Kamera und Mikroskop bequem von allen Seiten zugänglich sind. Am besten steht derselbe etwa 1 bis $1^1/_2$ m von der Südwand des Zimmers entfernt, und zwar so, daß seine optische Achse mit dem vom Heliostaten wagerecht in das Zimmer geleiteten Strahlenbündel einen rechten Winkel bildet.

Sehr wichtig ist, daß die Temperatur des Raumes, in dem man photographiert, gleichmäßig bleibt. Änderungen der Temperatur während längerer Expositionen haben bei Benutzung von starken Objektiven unweigerlich eine Verschlechterung der Scharfeinstellung zur Folge.

Der eigenartige, durch Drehung um seine polare Achse der Sonne folgende große Apparat von Benecke (s. Fig. 9) erfordert

Aufstellung im Freien oder unter drehbarer Kuppel, ähnlich derjenigen, unter welcher die großen Refraktoren und Heliometer der Sternwarten zu stehen pflegen. BENECKE[1] konstruierte hierfür ein tragbares Häuschen, welches zugleich das Dunkelzimmer enthält. Das kleine Gebäude steht auf einem freien Platze, mit seiner Längsachse genau im Meridian des Ortes. Der auf vier Pfählen ruhende Fußboden befindet sich etwa $^1/_2$ m über der Erde. Der Innenraum ist durch eine lichtdichte, mit Tür versehene Wand in zwei Teile geschieden, von denen der eine als Dunkelkammer, der andere mit Kuppel versehene als Aufnahmezimmer dient. In der Mitte des letzteren steht auf einem mit Sand gefüllten Kasten, der durch den Fußboden frei hindurchgeht und auf drei in die Erde gerammten Pfählen ruht, das Stativ des Apparates, dessen parallaktische Achse nach sorgfältigen Beobachtungen in die richtige Lage gebracht und in dieser unverrückbar befestigt ist. Die Schraube ohne Ende, welche die Kamera um ihre parallaktische Achse dreht, läßt sich leicht mit einem Uhrwerk in Verbindung setzen; man braucht sich dann um die scheinbare Bewegung der Sonne nicht zu kümmern.

Das über einem Gerippe von Bandeisen aus Eisenblech konstruierte Kuppeldach ruht auf drei Rollen und läßt sich mit Leichtigkeit drehen. Entsprechend den Kuppeln der Sternwarten hat dieselbe an einer Seite eine 20 cm breite spaltartige Öffnung, die vom unteren Rande bis zum Pole sich erstreckt und durch einen Schieber wetterdicht geschlossen werden kann. Durch diesen Spalt gelangt das Sonnenlicht in die Achse des mikrophotographischen Apparates.

Schade um die kostbare Zeit, die zur Ausführung einer so völlig unfruchtbaren Idee aufgewendet wurde!

[1]) BENECKE, Die Photographie als Hilfsmittel mikroskopischer Forschung S. 194.

Zweiter Abschnitt

Objektive und Okulare

1. Allgemeines

Zum Verständnis der folgenden Seiten sind einige Vorbemerkungen aus dem Gebiete der Optik unbedingt erforderlich. Doch müssen wir uns kurz fassen; wer sich über diese Dinge genauer unterrichten will, findet Ausführliches in den vortrefflichen Lehrbüchern von DIPPEL [1] und BEHRENS [2].

Von wesentlicher Bedeutung für die Leistungsfähigkeit einer Linse ist ihr Öffnungswinkel, welchen man erhält, wenn man zwei gegenüberliegende Ränder derselben mit dem Brennpunkte verbindet (*EBF* in Fig. 25 I). Entsprechend gestalten sich die Verhältnisse bei Linsensystemen (Fig. 25 II).

25

Der Öffnungswinkel einer Linse oder eines Systems wird den Wert von 180° niemals voll erreichen, da die Dicke des Deckgläschens immer einen gewissen Abstand des Objektes von der Frontlinse bedingt.

[1]) DIPPEL, L., Handbuch der allgemeinen Mikroskopie. Braunschweig. Vieweg & Sohn. DIPPEL, L., Grundzüge der allgemeinen Mikroskopie, Braunschweig, Vieweg & Sohn.

[2]) BEHRENS, KOSSEL u. SCHIEFFERDECKER, Das Mikroskop und die Methoden der mikroskopischen Untersuchung.

Bei Wasser- und Ölimmersionen gibt der in Luft gemessene Öffnungswinkel keinen Ausdruck für die Leistungsfähigkeit des Systems. Man war deshalb darauf bedacht, einen für alle Systeme gültigen Ausdruck abzuleiten, bei dem neben dem Öffnungswinkel auch der Brechungsindex des zwischen Deckglas und Objekt befindlichen Mediums in Rechnung gezogen wird. In sehr vollkommener Weise erreichte dies Prof. ABBE, indem er das Produkt aus dem Brechungsindex n des zwischen Deckglas und Objektiv befindlichen Mediums und dem Sinus des halben Öffnungswinkels u bildete und diese Größe die numerische Apertur a des Systems nannte:

$$\text{num. Ap. (a)} = \text{n. sin u.}$$

Da der halbe Öffnungswinkel aus dem oben angegebenen Grunde 90^0 niemals erreicht, so bleibt die num. Apertur eines Trockensystems immer kleiner als 1 [1].

Der Brechungsexponent des Wassers beträgt 1,33, derjenige des für Ölimmersionen verwendeten eingedickten Zedernholzöls, ebenso wie derjenige des Glases, 1,52. Doch läßt sich in der Praxis die Apertur der Wasserimmersion mit Vorteil nicht über 1,25, diejenige der Ölimmersion nicht über 1,40 steigern.

Die Überlegenheit der Immersionen über Trockensysteme läßt sich am besten durch eine kleine Skizze (Fig. 26) veranschaulichen. Dieselbe gibt einen Durchschnitt durch Frontlinse des Objektives, Deckglas und das zwischen beiden befindliche Medium: auf der rechten Hälfte Luft (mit dem Brechungsexponenten 1), auf der linken Hälfte Öl (mit dem Brechungsexponenten 1,5). Die vom Objekte kommenden Strahlen AC und BC werden in dem dichteren Medium des Glases dem Lot CL zugelenkt. Der Strahl BC trifft in D, der Strahl AC in E die obere Deckglasfläche. Da der Strahl BCD beim Verlassen des Deckglases ein Medium (Öl) vorfindet, welches denselben Brechungsexponenten wie Glas (1,5) hat, so kann er seinen Weg in derselben Richtung bis zur Frontlinse des Objektives fortsetzen. Er wird vom Objektiv aufgenommen und zum Okular weiter befördert. Ein ganz anderes Schicksal erleidet der Strahl ACE. Beim Verlassen des Deckglases bei E findet er ein Medium (Luft) vor, dessen Brechungsexponent ($n = 1$) erheblich kleiner ist, als derjenige des Deckglases; er wird demzufolge nach G hin abgelenkt, tritt überhaupt nicht in das Objektiv ein und ist für die Bilderzeugung verloren. Befindet sich Luft zwischen Deckglas und Frontlinse des

---

[1]) sin 90^0 wäre gleich 1, und n, der Brechungsexponent von Luft, ist ebenfalls gleich 1.

Objektives, so können von letzterem nur Strahlen aufgenommen werden, welche nicht schräger als HC auf die Unterseite des Deckglases auftreffen. $HCIK$ ist der Gang des von H ausgehenden Strahles.

Immersionssysteme sind also imstande, weit schrägere, vom Objekt kommende Strahlen aufzunehmen als Trockensysteme.

Bei den Versuchen, die num. Apertur eines Systems noch weiter als bei Ölimmersionen zu vergrößern und demnach die Möglichkeit zu geben, noch mehr vom Objekt ausgehende Strahlen in das reelle Bild überzuführen, stößt man auf bedeutende Schwierigkeiten. Die Frontlinie sowohl, wie alle Medien zwischen dieser und dem Objekt müßten aus Substanzen bestehen, deren Brechungsindex größer ist als derjenige des bisher benutzten Glases. Der Brechungsindex des Diamants beträgt nun 2,4; doch würde, abgesehen davon, daß die Dichtigkeit des Diamants häufig keine gleichmäßige ist, die Beseitigung der Farbenzerstreuung und der sphärischen Abweichung Schwierigkeiten bereiten. Die Farbenzerstreuung ließe sich allerdings durch ausschließliche Benutzung von monochromatischem Licht umgehen.

26

Diamantlinsen wurden schon im Jahre 1824 von Pritchard geschliffen, später auch von Adie, Blackie, Chevalier, Oberhaeuser und Plössl; doch erstrebte man mit denselben nicht eine Vergrößerung der Apertur der Systeme, da Tauchsysteme damals überhaupt noch unbekannt waren.

Zur Erreichung einer größern Apertur als 1,40 wäre es keinesfalls notwendig, zum Diamant zu greifen, da die Herstellung von Glassorten mit einem Brechungsindex von 1,8 bis 1,9 möglich ist.

Es gelang nun ABBE-ZEISS tatsächlich, ein Objektivsystem mit num. Apertur 1,60 zu konstruieren[1]. Die vorderste Linse ist ein Flintglas vom Index 1,72. Als Immersionsflüssigkeit dient Monobromnaphthalin (Brechungsindex 1,66). Das zu den Deckgläschen benutzte Flintglas hat ebenfalls den Index 1,72. Zur vollen Ausnutzung der Apertur des Objektives darf die Einbettungsflüssigkeit des Objektes, der Objektträger und das brechende Medium zwischen letzterem und dem Beleuchtungsapparat keinen geringeren Brechungsindex aufweisen; endlich ist für den Kondensor eine ebenso hohe Apertur erforderlich, wie für das Objektiv. Die Verwendbarkeit der Objektive mit so hoher Apertur ist demnach sehr beschränkt. Erfolgreich konnte man das Monobromnaphthalin-Immersionssystem bisher nur bei Diatomeen anwenden, da es noch nicht gelang, eine Einschlußflüssigkeit von genügend hohem Brechungsindex ausfindig zu machen, die auch bei andern Objekten, ohne deren Struktur oder Färbung zu zerstören, benutzt werden könnte.

Einer weiteren Steigerung der Apertur steht als hauptsächlichstes Hindernis der Mangel einer geeigneten Immersionsflüssigkeit entgegen. Die Flüssigkeit müßte wenigstens einen Index von 1,8 bis 1,9 haben, damit der Fortschritt gegenüber den jetzigen Systemen nennenswert sei. Leider sind Arsen- und Phosphorlösungen, die sich durch ungewöhnlich hohen Brechungsindex auszeichnen (2,10 und darüber), kaum zu verwenden. Über die Aussichten, oder vielmehr Nichtaussichten, die Apertur der Systeme fernerhin zu steigern, veröffentlichte CZAPSKI[2] eine höchst lesenswerte Studie.

Von der Grösse der num. Apertur des Objektives hängt das Abbildungsvermögen (Auflösungs- und Unterscheidungsvermögen) desselben ab. Die Fähigkeit des Systems, eine objektähnliche Abbildung kleinster, regelmäßig oder unregelmäßig angeordneter Struktureinzelheiten hervorzubringen, steht in geradem Verhältnis zu der num. Apertur desselben. Je größer die letztere ist, um so feinere Struktureinzelheiten werden noch abgebildet. Zur Lösung der feinsten Zeichnungen auf den Kieselschalen der Diatomeen sind daher Objektive mit sehr hoher Apertur erforderlich. Für gröbere, histologische Präparate ist dagegen hohe Apertur meist nur schädlich, da unter derselben das Begrenzungsvermögen und die Tiefenzeichnung leidet.

Zur Messung der num. Apertur dient der von ABBE ersonnene, von ZEISS ausgeführte Apertometer.

---

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. VI, 1889, S. 417.
[2]) Ebenda Bd. VIII, 1891, S. 145.

Von großer Wichtigkeit besonders für Aufnahme histologischer Präparate ist die Tiefenzeichnung der Objektive, auch Durchdringungsvermögen oder Penetration genannt. Man versteht darunter die Fähigkeit des Objektives, mehrere, in verschiedenen Tiefen gelegene Bildebenen gleichzeitig scharf wiederzugeben. Bei der mikroskopischen Beobachtung wirkt die Akkommodationsfähigkeit des Auges und die Unempfindlichkeit desselben gegen kleine Fehler in der Strahlenvereinigung ausgleichend; in der Photographie fallen diese Faktoren fort, und es kommt nur die tatsächlich vorhandene Fokustiefe des Systems zur Geltung. Je kürzer die Brennweite und je größer die num. Apertur des Objektives, um so geringer ist die Tiefenzeichnung. Letztere beträgt beispielsweise für ein System mit 0,35 num. Apertur = 0,03 mm, für ein solches mit 1,0 nur 0,002 mm.

Der Mikroskopiker pflegt, abgesehen von der Akkommodationsfähigkeit seines Auges, die mangelnde Tiefenzeichnung dadurch aufzuheben, daß er, während das Auge in den Tubus blickt, durch Drehen der Mikrometerschraube die Einstellung fortwährend verändert; natürlich kann hiervon beim Photographieren nicht die Rede sein.

Mangelnde Tiefenzeichnung der Objektive war einer der Hauptgründe, weshalb sich die Mikrophotographie in den Laboratorien der Histologen durchaus nicht einbürgern wollte. Das Ungeschick derer, die immer wieder versuchten, Präparate aufzunehmen, in denen die wesentlichsten Dinge verschiedenen Ebenen angehören, trug dazu bei, die Mikrophotographie gehörig in Mißkredit zu bringen.

Von größter Wichtigkeit für die Mikrophotographie ist endlich das Begrenzungsvermögen, die Definition[1], des Objektives, d. h. die durch genaue Zentrierung der Linsen und durch möglichste Beseitigung der sphärischen und chromatischen Abweichung herbeigeführte Fähigkeit, ein farbenreines und scharfes Bild zu liefern. Die sphärische Abweichung hat bekanntlich ihren Grund darin, daß von einem Punkte ausgehende Strahlen, welche die Kugeloberfläche einer Linse unter verschiedenem Einfallswinkel treffen, sich nicht in einem Punkte schneiden. Hierdurch entstehen viele dicht hintereinander liegende Bilder, welche dem Auge als ein einziges Bild mit verschwommenen Umrissen erscheinen. Die chromatische Abweichung ist dagegen bedingt durch den Umstand, daß der Brechungsindex für Strahlen von verschiedener Farbe verschieden ist. Beseitigt wird

---

[1]) Die Bezeichnungen Definition und Penetration werden von den verschiedenen Autoren in sehr verschiedenem Sinne angewendet. Man kann diese Fremdwörter, welche nur Verwirrung anrichten, ohne Schaden entbehren.

diese Farbenzerstreuung durch Verwendung verschiedener Glassorten von verschiedenem Farbenzerstreuungsvermögen für die Linse des Systems. Während man auf diese Weise zwei Strahlengattungen, z. B. die roten und blauen, auf genau gleiche Brennweite bringen kann, so gelingt dies nicht ohne weiteres mit den dazwischen liegenden Spektralfarben, welche sich als farbige, die Bildschärfe beeinträchtigende Zerstreuungskreise (sekundäre Farbenabweichung) von nicht unbedeutender Ausdehnung und Lichtstärke im mikroskopischen Bilde bemerkbar machen. Ferner bereitet der Umstand, daß Strahlenkegel, welche unter verschiedener Neigung in das Objektiv treten, eine gleichartige Farbenvereinigung nicht erfahren, den Optikern arge Schwierigkeiten. Diese als chromatische Differenz der sphärischen Abweichung bezeichnete Erscheinung gibt sich zu erkennen durch eine mehr oder minder starke Ungleichheit der chromatischen Korrektion zwischen den mittleren Zonen und der Randzone des Objektives, d. h. also durch ungleiches Hervortreten von Farben bei zentraler und bei schiefer Beleuchtung.

Um vollkommene Achromasie herbeizuführen, baute Barlow in den zwanziger Jahren des vorigen Jahrhunderts ein Objektiv aus einer bikonvexen Kronglaslinse und einer bikonkaven, mit Schwefelkohlenstoff gefüllten Linse, ohne jedoch das gewünschte Ziel zu erreichen. Einen durchschlagenden Erfolg errang erst 50 Jahre später Prof. Abbe[1], indem er zwischen zwei Linsen aus Kron- und Flintglas eine Flüssigkeit von sehr hoher Farbenzerstreuung, aber verhältnismäßig niedrigem Brechungsindex einschaltete. Ein derartiges Versuchsobjektiv, welches ein völlig farbenfreies Bild ergab, hat Zeiss nach den Berechnungen Abbes schon im Jahre 1873 fertiggestellt.

Um diesen Systemen größere Haltbarkeit zu geben, ersetzte Prof. Zenger[2] die Flüssigkeit durch eine gallertige Substanz, welche in geeigneter Weise mit Kronglaslinsen in Verbindung gebracht wurde. Jedoch auch diese Objektive konnten sich nicht einbürgern; ihre Leistungsfähigkeit wurde verschieden beurteilt.

Eine endgültige Lösung der schwebenden Frage gelang erst den vereinigten Bemühungen von Abbe, Schott und Zeiss[3]. Es ist klar, daß Linsen aus Flüssigkeiten und gallertigen Substanzen für den Mikroskopiker praktische Bedeutung nicht haben. Neue Glassorten

[1]) Journal of the Royal Microscopical Society 1879 S. 812. — Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. I, 1884, S. 487.

[2]) Zenger, Dioptrische Studien. Prag 1882. — Zentralzeitung für Optik und Mechanik Bd. IV, 1883, S. 254.

[3]) Zeitschrift f. wissenschaftl. Mikroskopie Bd. III, 1886, S. 224 u. 303.

mußten hergestellt werden, die in bezug auf Brechung und Farbenzerstreuung von den bisher benutzten Sorten wesentlich abweichen. Nachdem durch Abbe hierfür die leitenden Grundsätze aufgestellt waren, begab sich Schott an die Arbeit und hatte bald günstige Erfolge zu verzeichnen. Die preußische Regierung unterstützte das kostspielige Unternehmen durch eine Beihilfe von 60000 Mark. Nachdem eine Reihe neuer Glassorten, insbesondere Silicium-, Borat- und Phosphatgläser gewonnen waren, ging Zeiss an das Schleifen der Linsen. Doch ließen sich mit den neuen Gläsern allein die Fehler der alten Objektive nicht beseitigen; man mußte zu einem festen, durchsichtigen Medium greifen, dessen Brechung und Farbenzerstreuung eine ganz eigenartige ist, nämlich zum Flußspat (Fluorkalcium). Dasselbe verbindet mit einem ungemein niederen, absoluten Brechungsexponenten ein sehr geringes, relatives Zerstreuungsverhältnis und gibt in Kombination mit Flintglas von gewöhnlichem Typus sekundäre Abweichungen der Farbenvereinigung, die ein *entgegengesetztes* Vorzeichen den gewöhnlichen Spektren sekundärer Natur gegenüber haben. Eine Linsenverbindung von Flußspat und Flintglas ist daher imstande, die sekundäre Farbenabweichung einer gewöhnlichen achromatischen Linsenkombination zu korrigieren. Mit dieser Erkenntnis war für den Optiker der Stein der Weisen gefunden.

Während mit den früheren Flint- und Kronglasarten nur zwei verschiedene Farben zu demselben Fokus vereinigt werden konnten und ein sekundäres Spektrum unkorrigiert blieb, vereinigen die neuen Objektive drei Strahlen verschiedener Farben und lassen daher nur ein sehr kleines, wegen seiner geringen Lichtstärke unschädliches tertiäres Spektrum übrig. Ferner hatte sich bisher die sphärische Korrektion auf Strahlen *einer* Farbe beschränken müssen. Nunmehr wurde dieselbe für *zwei* verschiedene Spektralfarben möglich, und das Objektiv zeigt denselben Grad der chromatischen Korrektion für den zentralen, wie für den Randteil.

Durch diese Verhältnisse ist eine vollkommenere Konzentration der vom Objekt ausgehenden Lichtstrahlen gegeben, welche für die praktische Verwendung folgende Vorteile hat: Während bei den alten Objektiven von einigermaßen großer Öffnung die unvermeidlichen Mängel der Strahlenvereinigung ein genaues Zusammenwirken der Randzone mit den mittleren Teilen der Öffnung in erheblichem Maße beeinträchtigen und daher niemals diejenige Höhe des Abbildungsvermögens wirklich zustande kommen lassen, welche der vorhandenen numerischen Apertur entspricht, kommt bei den neuen Systemen die Öffnung in ihrem vollen Betrage zur Geltung. Praktisch verhalten

sich demnach letztere so wie entsprechende Objektive alter Konstruktion mit wesentlich größerer num. Apertur. Ferner vertragen die nenen Objektive eine stärkere Okularvergrößernng, ohne daß dadurch Unschärfe und der mit ihr stets verbundene Eindruck von Lichtmangel hervortritt.

Der für den Mikrophotographen wichtigste Vorteil ist jedoch das Znsammenfallen des optischen nnd chemischen Brennpnnktes, also das Fehlen der Foknsdifferenz.

Zeiss nannte seine neuen Objektive wegen der Farbenfreiheit des Bildes Apochromate. Nachdem dieselben weiteren Kreisen zugänglich gemacht waren, begannen andere optische Werkstätten mit der Nachbildung. Alle derartigen Versuche scheiterten jedoch anfänglich an dem Umstande, daß man von der Verwendnng des Flußspates nichts wußte. Erst als auch hierüber Genaneres in die Öffentlichkeit drang, gelang es einigen geschickten Optikern, Systeme herzustellen, welche den Namen Apochromate verdienen.

In der Folgezeit wurde manches Objektiv als Apochromat von seinem Verfertiger angepriesen, welches keinen der Vorzüge besitzt, die den wirklichen Apochromaten eigentümlich sind. Mit um so größerer Dreistigkeit wurde dann behauptet, daß derartige Systeme die Fabrikate von Zeiss sogar übertreffen.

Bei den älteren Apochromaten erwiesen sich einige der verwendeten Glassorten als außerordentlich empfindlich, znmal gegen fenchtes Klima. Die Oberfläche der Linsen trübte sich und das System wurde unbrauchbar. Nenerdings verwendet Zeiss für die Apochromate nur noch Glassorten, welche in bezug anf Widerstandsfähigkeit den höchsten Ansprüchen genügen.

Die Einführung des nltravioletten Lichtes in die Mikrophotographie durch Dr. August Köhler[1] machte auch Neukonstruktion von Objektiven notwendig, denn die bisher verwendeten Glassorten lassen ultraviolettes Licht von Wellenlänge $\lambda = 275$ bis $\lambda = 280$ $\mu\mu$ überhaupt nicht hindurchtreten. Dr. v. Rohr, wissenschaftlicher Mitarbeiter von Carl Zeiss (Jena), hat die nngeheueren, hierbei sich ergebenden Schwierigkeiten glücklich überwunden und Systeme von ganz neuartigem Typus errechnet. Da Bergkristall nltraviolette Strahlen nngehindert hindurchpassieren läßt, wurden die Linsen aus diesem Stoff hergestellt. Wegen der Doppelbrechung läßt sich jedoch roher Bergkristall nicht benutzen; man mnß zum geschmolzenen Kristall,

---

[1]) Zeitschrift für wissenschaftl. Mikroskopie Bd. XXI, 1904, S. 129—165 u. 273—304. Genaueres hierüber in Abschnitt III u. V.

dem sogenannten amorphen Quarz, greifen. Wie oben erwähnt, verwendet man, um bei den bisherigen Mikroskopobjektiven die sphärische und chromatische Abweichung zu korrigieren, neben dem Flußspat Gläser von verschiedener Farbenzerstreuung. Dieser Weg ließ sich wegen des Ausschlusses aller Glassorten bei den neuen Objektiven nicht einschlagen. Dr. v. ROHR gelang es jedoch, Objektive selbst von hoher numerischer Apertur aus nur einem einzigen Material zu konstruieren und dabei die sphärische Abweichung für eine Farbe sehr vollkommen zu beseitigen. Bei Benutzung einfarbigen Lichtes von bestimmter Wellenlänge weisen die neuen Objektive, welche den Namen „Monochromate" erhielten, eine Vollkommenheit der Strahlenvereinigung auf, welche mindestens der bei den Apochromaten erreichten gleich ist.

Von Objektiven dieser Art fertigt ZEISS:

Trockensystem,	6 mm	Brennweite,	0,35	num. Apertur
Glyzerinimmersion,	2,5 „	„	0,85	„ „
„	1,7 „	„	1,25	„ „

Was die Fassung der Objektive anbelangt, so wird neuerdings diejenige mit Schutzvorrichtung nach BOURGUET, wie sie beispielsweise C. REICHERT (Wien) liefert, als für mikrophotographische Arbeiten besonders geeignet gepriesen. Hier sitzt das eigentliche Objektiv locker, nur durch eine Feder nach unten gedrückt, in einer Metallhülse. Das untere Ende des Objektives ragt aus dieser Hülse ein wenig hervor. Senkt man nun beim Einstellen unvorsichtig den Tubus, so daß die Frontlinse des Objektives mit dem Deckglase in unsanfte Berührung kommt, so wird das Präparat doch nicht ernstlich beschädigt, weil die das Objektiv haltende Feder nachgibt und daher nur ein mäßiger Druck auf das Deckglas ausgeübt wird. Für unvorsichtige Mikroskopiker mag diese Vorrichtung zweckmäßig sein; für die Mikrophotographie hat sie deshalb kaum besondere Bedeutung, weil, wenn man für die Okularbeobachtung scharf eingestellt hat, das Bild auch auf der Mattscheibe gut sichtbar, häufig sogar ziemlich scharf ist. Zum endgültigen Scharfeinstellen wird daher nur geringfügige Drehung der Mikrometerschraube erforderlich.

2. Die Projektion des Bildes

Betrachten wir nunmehr die Methoden, deren man sich zum Entwerfen des durch das Objektiv erzeugten Bildes auf die lichtempfindliche Platte bedient.

Zuerst benutzte man, wie dies schon Davy im Anfang des vorigen Jahrhunderts getan hatte, lediglich das Objektiv zur Projektion. Hierbei muß man nach Herausnahme des Okulares den Tubus durch Drehen der Mikrometerschraube dem Objekte um so mehr nähern, je weiter die lichtempfindliche Platte vom Objekttisch entfernt ist. Die an den Tubuswänden entstehenden Lichtreflexe werden dadurch ausgeschlossen, daß man den oberen, bei den meisten Mikroskopstativen abnehmbaren Teil des Tubus losschraubt und in den übrig bleibenden Rest des Rohres eine Blende einsetzt. Ungewöhnlich weite Rohre beugen dem Entstehen von Reflexen am sichersten vor.

Für große Bilder ist bei diesem Verfahren eine außerordentlich lange Kamera nötig, oder nachträgliche Vergrößerung der mit kurzer Kamera aufgenommenen Negative. Dies veranlaßte die Mikrophotographen, sich die Okularvergrößerung zunutze zu machen. Schon der auf Seite 2 (Fig. 1) beschriebene, aufrecht stehende Apparat von Mayer ist für Aufnahmen mit Objektiv und Okular bestimmt. Pohl und Weselsky[1] verlangen ausdrücklich für ihren Apparat (Fig. 2) die Verwendung von Objektiv und Okular, und zwar das aplanatische Okular von Plössl in Wien.

Hat man bei der Okularbeobachtung scharf eingestellt und will man nun das Bild auf der Visierscheibe entwerfen, so ist der Tubus durch Drehen der Mikrometerschraube ein wenig zu heben. Je kürzer die Balgenlänge, um so mehr muß das Objektiv vom Objekte entfernt werden.

In der Folgezeit gingen die Meinungen über den Wert oder Unwert der Okulare für die Mikrophotographie sehr auseinander. Während das Okular von einzelnen Seiten gänzlich verworfen wurde, glaubten andere Mikrophotographen dasselbe nicht entbehren zu können. Man beschuldigte das Okular, der Lichtstärke des Bildes Abbruch zu tun und die Belichtungszeiten wesentlich zu verlängern. Dieser Vorwurf ist nicht stichhaltig; denn die durch die Okulargläser absorbierte und von den Oberflächen derselben reflektierte Lichtmenge ist ver-

[1]) Sitzungsberichte d. mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu Wien Bd. XXIII, 1857, S. 317.

schwindend geringfügig gegen die Menge des hindurchtretenden Lichtes. Die scheinbar größere Lichtschwäche des Bildes ist Folge der stärkeren Vergrößerung. Ersetzt man die Okularvergrößerung durch eine lange Kamera, so erscheint das Bild ebenso lichtschwach.

Bei Objektiven gewöhnlicher Konstruktion erhält man weder mit noch ohne Okular befriedigende Resultate. Dies hat in folgendem seinen Grund: Der Optiker berechnet seine Objektive für eine bestimmte Tubuslänge[1], auf dem europäischen Festlande in der Regel für eine solche von 160 mm (Zeiss) oder von 180 mm, in England dagegen, wo man auf stattliches Äußere des Instrumentes Wert legt, für eine solche von 250 mm. Nur für diese Bildabstände sind die Linsen sphärisch und chromatisch korrigiert. Entwirft man das Bild auf einer Platte, welche sich in größerem Abstande vom Objekt befindet, so läßt die Zeichnung in bezug auf Schärfe und Farbenreinheit zu wünschen übrig. Die Schärfe wird einerseits beeinträchtigt durch die nunmehr mangelnde Korrektion der sphärischen Abweichung, anderseits durch den Umstand, daß bei dem größeren Bildabstande sich die verschiedenen Farben nicht genau decken; denn das durch die roten Strahlen erzeugte Bild hat eine andere Größe als das durch die blauen erzeugte. Eine Folge hiervon sind breite Farbensäume, die das Zustandekommen scharfer Umrisse im Negativ verhindern. Diese Fehler fallen bei Objektiven von hoher num. Apertur am meisten auf; sie können durch Korrektionsfassung wohl vermindert, aber nicht ganz beseitigt werden. Die von Reichardt und Stürenburg[2] empfohlene Anbringung von Blenden dicht über dem Objektiv verringert zwar die sphärische Abweichung; doch wird hierdurch die num. Apertur der Objektive eingeschränkt.

Bei dem von van Heurck geübten Verfahren, die lichtempfindliche Platte dort anzubringen, wo sich bei der Okularbeobachtung das Okular befindet, werden die gerügten Fehler vermieden, doch erhält man hierbei so kleine Bilder, daß eine nachträgliche Vergrößerung der Negative sich als notwendig erweist.

Das durch Objektiv und Okular auf der Visierscheibe erzeugte Bild läßt gleichfalls zu wünschen übrig: Nicht nur die Begrenzung des Gesichtsfeldes, sondern auch alle Einzelheiten des Bildes zeigen breite Farbensäume und die Zeichnung ist unscharf. Das Okular in seiner gewöhnlichen Form liefert eben nur in Verbindung mit den

[1]) Die Tubuslänge wird gerechnet von der Anschlagstelle des Objektives bis zum oberen Rande des Tubus.

[2]) A. a. O. S. 10.

brechenden Medien des Auges auf der Netzhaut ein scharfes, farbenfreies Bild.

Die Bestrebungen der Optiker richteten sich frühzeitig darauf, die soeben angedeuteten Mängel zu beseitigen. Man konstruierte deshalb Objektive, welche speziell für photographische Aufnahmen berechnet waren. Hierbei mußte noch ein anderer Punkt berücksichtigt werden, den wir im vorhergehenden schon flüchtig andeuteten, der jedoch erst an späterer Stelle eingehend erörtert werden soll, nämlich die Fokusdifferenz, die Differenz des chemischen und optischen Brennpunktes. Dem Optiker erwuchs also die Aufgabe, Objektive herzustellen, bei denen einerseits der optische und chemische Brennpunkt zusammenfällt, anderseits die sphärische und chromatische Abweichung bei einem größeren Bildabstande, als sonst üblich, am besten korrigiert ist.

Streng genommen können derartige Systeme nur für eine bestimmte Kameralänge, also auch nur für eine bestimmte Vergrößerung tadellose Bilder liefern.

Wales in Amerika und Gundlach in Berlin scheinen die Ersten gewesen zu sein, welche sich mit der Herstellung photographischer Objektive abgaben. Gundlach nannte diese Systeme seltsamerweise achromatische, als ob die anderen nicht auch achromatisch wären. Allerdings wohnt ihnen ein höherer Grad der Achromasie inne. Gundlach fertigte Objektive von 1″, $^1/_2$″, $^1/_3$″, $^1/_4$″ und $^1/_8$″ Brennweite, auf neunzöllige Entfernung des Bildes vom Objekte berechnet. Man erhält mit denselben ohne Okular also nur kleine Bilder, welche in den weitaus meisten Fällen nachträgliche Vergrößerung erfordern. Nach Fritsch[1] sind diese Objektive nicht ganz frei von Fokusdifferenz; doch kann man dieselben ohne wesentlichen Nachteil auch für größere Bildabstände verwenden. Die in der Folgezeit von Seibert und Krafft gefertigten photographischen Objektive wurden dadurch berühmt, daß Robert Koch[2] mit denselben seine vortrefflichen Bakterienphotogramme herstellte. Nach Koch sind diese Systeme frei von Fokusdifferenz und geben, ohne Okular angewendet, auf weiten Bildabstand scharfe Bilder. Allgemeinere Verbreitung konnten sie jedoch niemals finden, teils weil es nicht jedermanns Sache ist, sich für mikrophotographische Zwecke einen besonderen Satz teurer Systeme anzuschaffen, teils weil man lernte, die den gewöhnlichen Objektiven anhaftenden Fehler durch einfache Maßnahmen unschädlich zu machen.

[1]) ‚Licht‘, Zeitschrift für Photographie 1869.

[2]) Cohn, Beiträge zur Biologie der Pflanzen Bd. II S. 399. Breslau 1877.

Die im vorigen genauer beschriebenen Apochromate sind sehr vollkommene photographische Objektive, da in ihnen sowohl die Fokusdifferenz als auch die sphärische Abweichung in ausgezeichneter Weise verbessert ist; allerdings dürfen sie ohne Okular nur für einen bestimmten Bildabstand (160 oder 250 mm) verwendet werden; bei größeren Abständen bedient man sich besonderer, im folgenden näher zu beschreibender Okulare.

Um die gewöhnlichen Objektive auch für großen Bildabstand brauchbar zu machen, griff der Amerikaner Woodward auf ein schon vor vielen Jahren geübtes Verfahren zurück. Als nämlich das Sonnenmikroskop in Blüte stand, benutzte man, um die Vergrößerung des Objektivsystemes zu steigern und das Bild möglichst eben zu machen, an Stelle des Okulares eine Konkavlinse. Woodward erkannte, daß eine derartige Linse nicht nur für die Vergrößerung, sondern auch für die Korrektion der durch zu großen Bildabstand erzeugten Fehler in der Mikrophotographie von Nutzen sei. Er ließ sich im Jahre 1870 von Tolles in Boston eine achromatische Konkavlinse (von ihm Amplifier genannt) schleifen, welche bei einem Durchmesser von 0,7″ und einer Brennweite von 6,5″ an Stelle des Okulares in den Tubus eingesetzt ein reelles Bild des Objektes entwarf.

Bei Verwendung des Amplifiers verfährt man folgendermaßen: Nachdem ein beliebiges Objekt mit irgendeinem schwachen Objektiv genau eingestellt ist, wird das Okular entfernt und an dessen Stelle die Konkavlinse gebracht, die in einer mit Millimeterteilung versehenen Hülse gefaßt sich im Tubus verschieben läßt. Das Mikroskop wird nun ohne Änderung der genauen Einstellung mit der photographischen Kamera in Verbindung gebracht und die Konkavlinse so lange vor- oder zurückgeschoben, bis auf der Visierscheibe das Objekt in größter Schärfe erscheint. Die so ermittelte Stellung der Schiebhülse im Tubus ist an der Skala abzulesen und zu notieren. Diese Stellung der Hülse ist für jedes andere Objektiv bei dem gewählten Bildabstande die gleiche. Für geringere oder größere Bildabstände muß die Stellung der Konkavlinse durch neue Versuche ermittelt werden.

Befindet sich der Amplifier in richtiger Lage im Tubus, so tritt damit derselbe Korrektionszustand ein, der für die Okularbeobachtung bei der normalen Tubuslänge besteht. Außerdem bringt die Konkavlinse das Bild auf eine zwei- bis dreimal stärkere Vergrößerung, als das Objektiv allein bei gleichem Plattenabstande geben würde.

Der Amplifier, dessen Anwendung, wofern nämlich die beste Korrektion des Objektives gesichert werden soll, nicht ganz einfach

und schon deshalb unbequem ist, weil derselbe tief in den Mikroskoptubus eingeführt werden muß, wurde in neuerer Zeit durch eine sehr zweckmäßige von Abbe-Zeiss angegebene Linsenkonstruktion, das Projektionsokular, verdrängt. Das Wesentliche dieser Methode besteht darin, daß man das vom Objektiv erzeugte Bild genau in demselben Abstande entstehen läßt, in welchem es bei der gewöhnlichen Okularbeobachtung zustande kommt, dieses Lichtbild aber mittels eines besonderen Linsensystems, welches für derartige photographische Abbildungen korrigiert ist, vergrößert auf die empfindliche Platte projiziert. Diesem Linsensystem ist äußerlich die Form eines Okulares gegeben, um es ganz wie ein solches durch Einschieben in den Tubus mit dem Objektiv verbinden zu können. Nach der Lage des Augenpunktes, d. h. des Kreuzungspunktes der hindurchtretenden Strahlen, und nach der Art der Korrektionen ist es jedoch von eigentlichen Okularen durchaus verschieden. Es ist in Wirklichkeit ein mit einer Kollektivlinse verbundenes Objektiv von 60 mm bezüglich 30 mm Brennweite, welches nach Art der Photographenobjektive von größeren Dimensionen sphärisch und chromatisch korrigiert und daher namentlich frei von sekundärer Farbenabweichung und von Fokusdifferenz ist; dasselbe hebt in dem projizierten Bilde, wie die Kompensationsokulare [1] bei der Okularbeobachtung, die Vergrößerungsdifferenz der verschiedenen Farben auf, welche die stärkeren Mikroskopobjektive in dem direkten Bilde unkorrigiert bestehen lassen. Zwischen dem Kollektiv und dem genannten Linsensystem ist zur Begrenzung des Bildfeldes ein Diaphragma eingeschaltet, welchem das in einer Schiebhülse gefaßte Linsensystem mehr oder weniger genähert werden kann.

Den Okulardeckel des Projektionsokulares bildet ein Diaphragma, durch welches Reflexe im Tubus vollständig abgeblendet werden. Die Öffnung dieses Diaphragmas ist der größten Linsenöffnung der Apochromate entsprechend gewählt. Beim Gebrauch der apochromatischen Objektive von 0,6 und 0,3 num. Apertur kann es sich aber gelegentlich empfehlen, die wirksame Öffnung des Objektives zu beschränken, um gleichmäßigere Bildschärfe bis zum Rande des Bildfeldes zu erzielen. Für diesen Zweck werden jedem Projektionsokular zwei Diaphragmen mit abgestuften kleineren Öffnungen beigegeben, welche sich an Stelle des normalen Diaphragmas aufstecken lassen. Man hat hierbei darauf zu achten, daß diese engeren Diaphragmen nicht

[1]) Das Eigentümliche der sogen. Kompensationsokulare besteht in der Vorbindung einer als Kollektivglas dienenden Flintlinse mit einem Flint-Kronglasachromaten (Augenglas). Die gewöhnlichen Okulare sind dagegen aus zwei Kronglaslinsen gefertigt.

irrtümlich auch dann am Okular bleiben, wenn die volle Öffnung der Objektive wirksam sein soll. Die Brennweite der Projektionsokulare ist so gewählt, daß sie mit dem kontinentalen Tubus von 160 mm Rohrlänge die Vergrößerungswirkung auf das Zweifache (Okular 2), bezüglich das Vierfache (No. 4) von der direkten Vergrößerung des Objektives bei gleichem Plattenabstand steigern, mit dem englischen Tubus von 250 mm Rohrlänge aber auf das Dreifache (No. 3), bezüglich Sechsfache (No. 6). Sie gestatten also auch bei Objektiven von relativ langer Brennweite stark vergrößerte Bilder, ohne daß man auf allzu große Plattenabstände geführt würde. Der Abstand der Mattscheibe vom oberen Tubusrand kann bei Okular 2 und 3 bis auf 24 cm, bei No. 4 und 6 bis auf 15 cm vermindert, übrigens aber beliebig groß genommen werden. Obgleich ursprünglich für die Apochromate berechnet, lassen sie sich mit Vorteil auch für gewöhnliche Objektive von hoher num. Apertur verwenden.

Das Zeisssche Projektionsokular No. 2 besitzt ein nur kleines Gesichtsfeld, was durch die geringe Weite des Tubus bedingt wird. Um ein größeres Gesichtsfeld ausnutzen zu können, baut Zeiss auch ein Projektionsokular No. 2* mit wesentlich größerem Linsendurchmesser. Dasselbe ist ausschließlich für Benutzung mit dem großen mikrophotographischen Stativ bestimmt und wird mittels eines beigegebenen, an den Haupttubus anzuschraubenden Ansatzstückes am Stativ befestigt. Das Sehfeld dieses Okulares ist etwa doppelt so groß, die Vergrößerung und sonstige optische Wirkung die gleiche, wie bei dem gewöhnlichen Projektionsokular No. 2. Um bei Benutzung desselben das Gesichtsfeld nach Belieben einengen zu können, wird dasselbe auch mit Irisblendung an Stelle des gewöhnlichen Diaphragmas geliefert; es ist hauptsächlich für Mikroprojektion zu empfehlen.

Um das Bild mit Hilfe des Projektionsokulares auf der Visierscheibe zu entwerfen, verfährt man folgendermaßen: Nach vorläufig bewirkter Einstellung des Präparates mittels eines gewöhnlichen Okulares wird an Stelle des letzteren, ohne an der Tubuslänge etwas zu ändern, das Projektionsokular eingeführt und die vordere Linse desselben durch Heraus- oder Hereindrehen so lange verschoben, bis die im Okular befindliche Blende sich auf der Visierscheibe als Begrenzung des Gesichtsfeldes scharf abbildet. Zu diesem Zwecke muß die Projektionslinse um so mehr herausgedreht werden, je geringer der Abstand der Scheibe vom Mikroskop ist. Die Ermittlung der besten Okularlänge ist eine ziemlich mühselige Arbeit, doch verfahre man hierbei recht genau. Die einmal ermittelte Stellung der

vorderen Okularlinse ist für dieselbe Kameralänge stets die gleiche. Um das Auffinden und Festhalten eines bestimmten Abstandes der Okularlinsen zu erleichtern, brachte ZEISS an dem oberen Ende des Okulares Kreisteilung an.

Erst nachdem in angegebener Weise scharfe Begrenzung des Gesichtsfeldes erreicht ist, stellt man mit Hilfe der Mikrometerschraube das Bild auf der Visierscheibe scharf ein.

Das zeitraubende Einstellen mit den Projektionsokularen veranlaßte ZEISS[1] neuerdings, die oben an diesen Okularen angebrachte Kreisteilung zu ändern und sie mit der Teilung eines Meßbandes in Einklang zu bringen, wodurch die Ermittlung der richtigen Okularlänge ungemein vereinfacht wird. Das Band trägt zwei Teilungen, eine blaue, mit P_2 bezeichnete für Okular 2 und eine rote, P_4, für Okular 4. Die Teilung für Okular 2 kann zugleich zum Einstellen des ausschließlich an dem englischen Tubus zu benutzenden Projektionsokulars 3 dienen, die Teilung für Okular 4 ebenso zum Einstellen des Projektionsokulars No. 6 für den englischen Tubus.

Man gebraucht die Vorrichtung folgendermaßen: Nachdem man das Präparat mit Objektiv und gewöhnlichem Okular eingestellt hat, ersetzt man letzteres durch das Projektionsokular und stellt den Index des Okularkopfes vorläufig auf 0. Sollte das Bild jetzt nicht ganz scharf erscheinen, so stellt man von neuem ein, wobei sich Kurzsichtige der Brille bedienen, welche sie für die Ferne tragen. Nun entfernt man den hinteren Rahmen der Kamera mit der Mattscheibe so weit vom Okular, wie zur Erzielung der gewünschten Vergrößerung nötig ist. Hierauf befestigt man das Meßband derart an der Mattscheibe, daß der erste Strich des Bandes mit der mattierten Fläche der Scheibe zusammenfällt (vergl. Fig. 17 auf Seite 29). Durch Visieren stellt man nun fest, mit welchem Teilstrich des Bandes die Verlängerung der Fläche, welche die Teilung des Projektionsokulares trägt, zusammenfällt. Die auf dem Meßbande hier befindliche Zahl gibt den Teilstrich an, auf den man den Index des Okularkopfes zu stellen hat. Erst nachdem diese Einstellung vorgenommen, wird die lichtdichte Verbindung zwischen Mikroskop und Kamera hergestellt und mit Hilfe des HOOKEschen Schlüssels scharf eingestellt. Auf scharfe Abbildung des Randes der Okularblende braucht dabei keine Rücksicht genommen zu werden.

Mit den älteren Projektionsokularen ist das Meßband nicht zu gebrauchen, ebensowenig mit den Mikrometerokularen nach PLAGGE,

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. XVIII, 1901, S. 273.

über welche der Leser in dem späteren Kapitel über „Messung der Vergrößernng“ genaueres findet.

Vor Jahren wurde Verfasser[1] durch theoretische Erwägungen daranf gelenkt, zu nntersuchen, unter welchen Verhältnissen das gewöhnliche Okular zur Projektion des Bildes verwendbar wird. Versucht man mit einem Okular auf der Visierscheibe scharf einzustellen, so zeigen, wie schon erwähnt, sowohl die Einzelheiten des Objcktes, besonders nach dem Rande hin, als auch die Begrcnznng des Gesichtsfeldes Farbensäume. Ganz anders gestaltet sich die Sache, wenn man, wie beim Projektionsokular, die beiden Linsen etwas voneinander entfernt: Die Farbensäume schwinden und Objekt wie Begrenzung des Gesichtsfeldes erscheinen in voller Klarheit. Entfernt man die Linsen zu weit, so wird das Bild schlechter und die Farbensänme treten wieder auf. Bei zu kurzem Okular (so wie dasselbe für die gewöhnliche mikroskopische Beobachtung dient) hat die Begrenzung des Gesichtsfeldes auf der Einstellscheibe einen blauen, bei zu langem einen roten Sanm. Maßgebend für die richtige Länge ist die Farbenfreiheit dieser Begrenzung.

Znr Erzielung schleierfreier Bilder wird es fernerhin nötig, eine kleine, 5 mm im Dnrchmesser messende Blende unmittelbar über der vorderen Okularlinse anznbringen.

Beide Änderungen lassen sich ohne weiteres an jedem Okular ausführen; eine $2^1/_2$ cm lange Hülse, die über die Messinghülse des Okulares geschoben wird und die an ihrem oberen Ende die dem Auge zugekehrte Linse trägt, genügt vollkommen. Die in dem Okular vorhandene Blende verbleibt an ihrem alten Fleck. Die über das Okular zu stülpende neue Blende wird ebenfalls mittels einer kurzen, abnehmbaren Hülse befestigt. Überläßt man die Änderung einem Mechaniker, so empfiehlt es sich, die Anordnung derart zu treffen, daß die das Augenglas tragende Hülse im Innern der Okularhülse sitzt, damit das Okular wie bei gewöhnlicher Beobachtung an unveränderter Stelle im Tnbns verbleiben kann. Auf jeden Fall benutze man für derartige Versuche nur ganz schwache Okulare. Im großen und ganzen schwankt die notwendige Verlängerung zwischen 1 und 2 cm. Für jeden Bildabstand ist die erforderliche Länge des Okulares durch einen Versnch festzustellen.

Die anf diese Weise gewonnenen Projcktionsoknlare geben anch mit gewöhnlichen Objektiven von geringer num. Apertur scharfe Negative.

---

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. V, 1888, S. 328.

Es darf nicht unerwähnt bleiben, daß Harting[1] schon vor einem Vierteljahrhundert zur Projektion des Bildes bei seinen mikrophotographischen Arbeiten sich eines Amicischen Okulares bediente, bei dem sich der Abstand der beiden Linsen nach Belieben vergrößern oder verringern ließ. Harting gibt an, er habe die beiden Okularlinsen soweit voneinander entfernt, bis die Teilstriche eines als Objekt dienenden Mikrometors bis zum Rande hin gerade verliefen. Er führt also durch die Verlängerung des Okulares eine Korrektion der Distortion, d. h. der Krümmung, welche gerade Linien außerhalb der Achse durch die Abbildung erleiden, herbei. Eine solche Korrektion ist bei unseren heutigen, viel vollkommeneren Objektiven nicht mehr nötig. Die gegenwärtig durch Projektionsokulare angestrebte Korrektion der sphärischen und chromatischen Abweichung war bei den damaligen Objektiven auf diesem Wege nicht zu erreichen.

Ab und zu taucht die Behauptung auf, daß Projektionsokulare völlig überflüssig seien, daß man ganz ohne Okular oder mit gewöhnlichen Okularen ebenso gute Bilder herstellen könne. Tatsächlich liegen die Verhältnisse folgendermaßen: Da man gegenwärtig in der Mikrophotographie fast ausschließlich mit einfarbigem Lichte arbeitet, so kommen die auf S. 53 erwähnten Farbensäume (ein Produkt mangelhafter chromatischer Korrektion beim Projizieren ohne Okular oder mit gewöhnlichen Okularen) in Fortfall. Bestehen bleibt die mangelhafte Korrektion der sphärischen Abweichung, wenn man das Bild ohne Okular auf eine größere Entfernung hin entwirft. Ist hier jedoch der Abstand der Platte vom Objektiv nicht allzu bedeutend, so können die Fehler sich in so engen Grenzen halten, daß sie im Bilde nicht besonders störend auftreten. Wer also durchaus die Ausgabe für das Projektionsokular sparen will, möge (vorausgesetzt, daß man mit einfarbigem Lichte arbeitet) bei schwachen Objektiven und geringfügiger Kameralänge — insbesondere also bei Verwendung der senkrechten Kamera — ohne Okular photographieren, bei größerer Kameralänge und schwachen Objektiven dagegen mit einem gewöhnlichen (Huyghensschen) Okulare. Für stärkere Objektive sind die Kompensationsokulare, welche immerhin den besten Ersatz für Projektionsokulare darstellen, mehr geeignet. Niemals möge man aber vergessen, daß den allerhöchsten Anforderungen nur die Projektionsokulare genügen.

Kommt es bei kurzer Kamera auf ungewöhnlich starke Okular-

[1]) Harting, Das Mikroskop Bd. II S. 287. Braunschweig 1886, Vieweg & Sohn.

vergrößerung an, so ist man gezwungen, zu den hohen Nummern der Kompensationsokulare zu greifen. Stärkere Projektionsokulare würden vor den Kompensationsokularen keine merklichen Vorzüge darbieten. Empfehlenswerter als kurze Kamera mit starkem Okular bleibt lange Kamera mit schwachem Okular.

Für Aufnahmen mit ultraviolettem Licht (S. 50) sind besondere Okulare erforderlich, weil das Glas der bisherigen Okulare ultraviolette Strahlen nicht hindurchpassieren läßt. Da man nun bei Aufnahmen mit ultraviolettem Licht mit einer bestimmten, nicht sehr erheblichen Kameralänge arbeitet, so wurde es wünschenswert, für die verschiedenen Vergrößerungen verschiedene Okulare, die natürlich aus Quarz hergestellt sein müssen, zur Verfügung zu haben. Zeiss bringt also fünf verschiedene Okulare dieser Art in den Handel, welche eine 5-, 7-, 10-, 14- und 20fache Vergrößerung des vom Objektiv erzeugten Bildes herbeiführen.

Die Projektion des Bildes auf die Visierscheibe wurde endlich auch versucht durch Zuhilfenahme einer photographischen Landschaftslinse, welche man in große Nähe des oben im Tubus befindlichen gewöhnlichen (nicht verlängerten) Okulares bringt[1]. Die ganze Anordnung gleicht dann den Verhältnissen, wie wir sie beim Hineinschauen in das mit Objektiv und Okular versehene Mikroskop haben. Die dicht über dem Okular im Augenpunkte aufgestellte Landschaftslinse entspricht der Linse des Auges. Man erhält nach diesem Verfahren vortreffliche Resultate; es ist wunderbar, daß dasselbe nicht allgemeinere Verbreitung fand. Verfasser bediente sich dieser Anordnung bis zur Einführung der Projektionsokulare fast ausschließlich. Benutzt wurde ein Steinheilscher Weitwinkelaplanat. Besondere Beachtung verdient bei Anwendung der Landschaftslinse der Umstand, daß das Bild auf der Platte erzeugt wird durch ein von Fokusdifferenz freies System.

Wer eine Landschaftslinse nicht besitzt, wird sich zum Zwecke der Mikrophotographie eine solche allerdings nicht anschaffen. Man machte dem soeben beschriebenen Verfahren den Vorwurf, daß infolge von Reflexionen an den zahlreichen Linsenoberflächen und von Absorption im Innern der Gläser zu viel Licht verloren geht. Das ist nicht zutreffend, denn die Lichtverluste sind klein im Vergleich zu der hindurchtretenden Lichtmenge.

[1]) Vogel, Lehrbuch der Photographie S. 452. Berlin 1878, Oppenheim. Diese Anordnung ist von Vogel schon in Kreutzers Zeitschrift für Photographie und Stereoskopie (Bd. VII, 1863) beschrieben.

3. Die Fokusdifferenz

Wir kommen nunmehr zur Besprechung eines im vorhergehenden schon wiederholt berührten Punktes, der Fokusdifferenz, d. h. der Differenz des chemischen und optischen Brennpunktes der Systeme. Wie im obigen erörtert, gelang es früher nur, zwei verschiedene Farben des Spektrums — Rot und Blau — zu demselben Fokus zu vereinigen. Die dazwischen liegenden Farben Gelb und Grün, besonders aber das violette und ultraviolette Ende des Spektrums, blieben unkorrigiert. Überdies konnte die Korrektion der sphärischen Abweichung nur für eine Farbe — in der Regel für die hellste — bewirkt werden, während für die dem violetten Ende des Spektrums nahe liegenden chemischen Strahlen eine Überverbesserung fortbestand.

Wenn man mit einem System, welches Fokusdifferenz besitzt, auf der Visierscheibe für das Auge scharf einstellt und nunmehr eine photographische Aufnahme macht, erhält man niemals ein scharfes Negativ, denn die für das Auge am meisten wirksamen, gelben Strahlen schneiden sich in einem anderen Punkte, als die für die photographische Platte wirksamen blauen und violetten.

Während man in der Porträt- und Landschaftsphotographie die soeben angedeuteten Fehler bald vermeiden lernte, blieb in der Mikrophotographie die Fokusdifferenz bis auf den heutigen Tag ein Stein des Anstoßes, der ungezählte Platten vernichtete und manchen Forscher zur Verzweiflung brachte. Wenn wir sagen: „bis auf den heutigen Tag", so ist das keineswegs übertrieben, denn täglich werden Systeme in den Handel gebracht, die angeblich frei von Fokusdifferenz sind, und bei denen der Mikrophotograph erst nach einer größeren Reihe von Fehlaufnahmen merkt, daß der optische und chemische Brennpunkt trotz gegenteiliger Behauptung der Verfertiger nicht zusammenfallen.

Um die Fokusdifferenz zu beseitigen, schlug Bertsch[1], einer der Ersten, die überhaupt brauchbare Mikrophotogramme verfertigten, vor, die Objektive auf einem eigenen, durch feine Schrauben zu bewegenden Schlitten zu befestigen, wo sie nach der Einstellung für das Auge um gewisse, durch Vorversuche zu ermittelnde Entfernungen verschoben werden sollen. Shadbolt, Reeves, Traer und Harting benutzten zu dem gleichen Korrektionsverfahren die Mikrometerschraube

[1]) Moitessier, La photographie appliquée aux recherches micrographiques S. 179.

des Mikroskopes. HARTING[1] beschreibt das Verfahren folgendermaßen: Der Kopf der Mikrometerschraube muß eine Teilung haben, die entweder auf ihm selbst oder auf einer damit verbundenen, kreisförmigen Platte angebracht sein kann; eine feststehende Spitze dient als Zeiger. Hat man einmal durch vorgängige Probe ermittelt, um wie viele Teile die Schraube vor- und zurückgedreht werden muß, um von dem scharfen optischen zu dem scharfen photographischen Bilde zu gelangen, so läßt man fernerhin bei dem nämlichen Objektiv und Okular die nämliche Veränderung eintreten. Ist die Mikrometerschraube sorgfältig gearbeitet und jeder tote Gang vermieden, so gibt die Methode vortreffliche Resultate. Bei schwachen Objektiven läßt sie sich viel leichter anwenden, als bei starken.

Ein anderes Verfahren, die Fokusdifferenz zu beseitigen, ist folgendes: Das Objektiv bleibt nach genauester Einstellung für das Auge in seiner Lage, dagegen wird die Stellung der Visierscheibe für die photographische Aufnahme verändert. Um hierbei die richtige Balgenlänge zu ermitteln, muß man systematisch zu Werke gehen. Die erste Aufnahme geschieht bei der für das Auge scharfen Einstellung; ohne an der Stellung der Mikrometerschraube das geringste zu ändern, fertigt man nun noch mehrere Aufnahmen, teils mit längerer, teils mit kürzerer Kamera, und zwar wird jedesmal bei Veränderung der Balgenlänge um 1 cm von neuem exponiert. Selbstverständlich muß man sich genau notieren, welche Platte bei bestimmter Balgenlänge belichtet wurde. Besitzt die geprüfte Linse Fokusdifferenz, so kann die ursprüngliche Aufnahme, bei der das Auge das Bild scharf sah, nicht scharf geworden sein; vielmehr wird irgendeine andere der exponierten Platten ein gutes Bild liefern. Dann erübrigt nur, die Balgenlänge zu ermitteln, bei der diese Platte exponiert wurde, und man ist imstande, für alle künftigen Expositionen mit dieser Linse die aus der Fokusdifferenz sich ergebenden Fehler zu vermeiden. Wurde beispielsweise die erste Aufnahme mit der für das Auge scharfen Einstellung bei einer Balgenlänge von 50 cm gemacht, und erweist sich dasjenige Negativ als das schärfste, welches bei einer Länge von 55 cm exponiert ist, so hat man in Zukunft nach genauester Einstellung die Kamera um 5 cm zu verlängern. Das heißt mit anderen Worten: Wenn die optisch wirksamen Strahlen des geprüften Systems sich bei bestimmter Stellung der Mikrometerschraube 50 cm vom Objekt entfernt schneiden, so schneiden sich die chemisch wirksamen erst in einem um 5 cm größeren Abstande.

---

[1]) HARTING, Das Mikroskop Bd. II S. 288.

Um bei dieser Methode schon durch eine einzige Aufnahme den Abstand des chemischen vom optischen Brennpunkte genau zu ermitteln, verfuhren REICHARDT und STÜRENBURG[1] folgendermaßen: Als Aufnahmeobjekt dient eine mit Mikrometermaßstab versehene Platte, welche auf schiefer Unterlage derart geneigt auf dem Objekttisch liegt, daß die Richtung der Striche wagerecht bleibt. Hierbei ist also die Entfernung der verschiedenen Striche von der Frontlinse des Objektives verschieden, und es gelingt deshalb nicht, mehrere Striche gleichzeitig scharf zu sehen. Man stellt nun den in der Mitte des Gesichtsfeldes liegenden Strich auf der Visierscheibe ein und macht die Aufnahme. Erscheint im Negativ nicht dieser Strich, sondern vielleicht der benachbarte zur Rechten scharf, so ist die Fokusdifferenz erwiesen. Um den in der Mitte des Gesichtsfeldes liegenden Strich im Negativ scharf zu erhalten, müßte man die Kamera um soviel verlängern oder verkürzen, bis der zur Linken benachbarte Teilstrich auf der Visierscheibe dem Auge scharf erscheint. Die aus diesem Versuche sich als notwendig ergebende Verlängerung oder Verkürzung der Kamera ist mit dem Zentimetermaße zu messen und bei allen Aufnahmen mit demselben Objektiv zu berücksichtigen.

Statt der von REICHARDT und STÜRENBURG verwendeten, mit Mikrometermaßstab versehenen Platte wurde später eine mehrzeilige, mikroskopische Schrift benutzt, welche in 100facher Linearvergrößerung deutlich lesbar ist. Man stellt bei einem derartigen, auf dem Mikroskoptisch geneigt angebrachten Objekt beispielsweise auf Zeile 5 ein und macht die Aufnahme. Erscheint im Negativ nicht Zeile 5, sondern Zeile 3 scharf, so hat man in Zukunft, um Zeile 5 zu photographieren, die Balgenlänge soweit zu verändern, bis Zeile 7 auf der Visierscheibe sich scharf abbildet. Dasselbe Ziel wird erreicht, wenn man die Balgenlänge unverändert läßt und durch Drehen der Mikrometerschraube vom Bilde der Zeile 5 zu demjenigen der Zeile 7 gelangt. Die hierbei erforderliche Drehung ist von der Kreisteilung des Schraubenkopfes abzulesen. Bei jeder photographischen Aufnahme mit dem auf diesem Wege geprüften Objektivsystem dreht man, nachdem für das Auge scharf eingestellt ist, die Schraube soweit, als der obige Versuch als notwendig ergab.

Da bei starken Objektiven geringfügigste Abweichungen im Objektivabstande Unschärfe des Bildes zur Folge haben, so läßt sich bei ihnen die Fokusdifferenz auf die zuletzt beschriebene Weise nur

[1]) REICHARDT u. STÜRENBURG, Lehrbuch der mikroskopischen Photographie S. 22.

mit großen Schwierigkeiten unschädlich machen. Dazu kommt, daß wegen der kurzen Brennweite ein schräg auf dem Mikroskoptisch angebrachtes Objekt in den seltensten Fällen Platz findet.

Wenhams Korrektionsmethode der Fokusdifferenz beruht auf der Einschaltung einer bestimmten, durch Vorversuche ermittelten achromatischen Bikonvexlinse zwischen Objektiv und empfindlicher Platte, nachdem die Einstellung ohne diese Linse vorgenommen ist. Da jedes Objektiv eine eigene Linse erfordert, so konnte sich dies Verfahren als zu umständlich und kostspielig nicht einbürgern.

Einen eigenartigen Weg schlug Graf Castracane[1] ein, welcher, wie dies Brewster[2] schon viel früher für die Okularbeobachtung angeraten hatte, einfarbiges Licht zum Photographieren verwendete, das

27

natürlich nur einen Fokus haben kann. Er zerlegte das weiße Licht durch ein Prisma von großem Zerstreuungsvermögen in seine Grundfarben und ließ durch eine passende Blende nur die blauen Strahlen auf das Objekt fallen. Es ist klar, daß hierbei auch schlecht gearbeitete Objektive, bei denen nicht einmal der Fokus von zwei Farben gut vereinigt ist, brauchbare Resultate liefern müssen, da die Farbenzerstreuung außer Spiel bleibt.

Das einfache Prisma Brewsters wurde später auf Prazmowskis Anregung von Hartnack durch zwei mit einer Sammellinse verbundene Prismen von besonders starker Dispersion ersetzt (Fig. 27). Auf

---

[1]) Nuovi Lincei Bd. XVII, 6. März 1864. — Bibliothèque universelle de Genève, Mai 1865.

[2]) Brewster, Treatise on the Microscope 1837.

diese Weise gelingt es, bei etwas stärkeren Vergrößerungen das ganze Gesichtsfeld mit annähernd einfarbigem Licht zu beleuchten. Doch gibt diese Methode nur für ein verhältnismäßig kleines Gesichtsfeld gleichmäßige Beleuchtung.

Durch Verschiebung eines Spaltes können die verschiedenen Farben des Spektrums nacheinander in das Sehfeld gebracht werden. Obgleich die Vorrichtung sich leicht unter dem Objekttische eines jeden größeren Stativs befestigen läßt, scheinen doch in der Mikrophotographie praktische Versuche mit derselben wenig angestellt zu sein. Allerdings haften der Vorrichtung verschiedene Fehler an: Sie gestattet nur Verwendung von geradem Licht und erlaubt nicht, die Weite des Beleuchtungskegels so bequem abzustufen, wie der an Irisblende und Abbeschen Beleuchtungsapparat gewöhnte Mikrophotograph dies verlangt.

Einen dem Hartnackschen ähnlichen, aber komplizierter gebauten Apparat beschreibt Leiss [1].

Eine viel zweckmäßigere Konstruktion entsprechender Art erfand Dr. August Köhler [2]. Er entwirft mit Hilfe eines Prismas und einer Sammellinse ein reelles Spektrum auf der Blende des Abbeschen Kondensors. Dieses Spektrum ist so breit, daß die Blende nur einen kleinen, als einfarbig anzusehenden Teil hindurchläßt. Nach dieser Methode erhält man ein völlig gleichmäßig erleuchtetes Gesichtsfeld.

In welcher Weise man unter Benutzung von Prismen einfarbiges, ultraviolettes Licht von ganz bestimmter Wellenlänge für die Mikrophotographie nutzbar macht, werden wir in Abschnitt V in dem Kapitel über „Aufnahmen mit ultraviolettem Licht" kennen lernen.

Eine andere Methode, einfarbiges Licht zu erlangen, besteht in der Anwendung von farbigen Gläsern oder Flüssigkeiten. Da die gewöhnliche photographische Platte für blaue Strahlen die größte Empfindlichkeit besitzt, so griff man in erster Linie zu blauem Kobalt- oder Manganglas. Die Resultate befriedigten wenig, denn Gläser liefern kein einfarbiges Licht: neben den vorwiegend hindurchtretenden blauen Strahlen kommt ein nicht geringer Prozentsatz von grünen, gelben und roten zur Wirksamkeit. Weit bessere Resultate geben Glasscheiben, die mit blau gefärbtem Lack oder Kollodium (Anilin-

[1]) Leiss, C., Spektralapparat nach E. A. Wülfing zur Beleuchtung mit Licht verschiedener Wellenlänge. Zeitschrift für Instrumentenkunde Bd. XVIII, 1898, S. 209.

[2]) Beleuchtungsapparat für gleichmäßige Beleuchtung mikroskopischer Objekte mit beliebigem, einfarbigem Licht. Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. XVI, 1899, S. 1—28.

blau) überzogen sind, und vor allem gewisse in Glasbehältern mit planparallelen Wänden (Küvetten) eingeschlossene Flüssigkeiten.

Die Herstellung der Küvetten bereitet keine Schwierigkeiten. Man kittet mit einem guten Kitt[1] drei Glasstreifen oder einen U-förmigen Glasrahmen zwischen zwei möglichst ebene, fehlerfreie Spiegelglasplatten. Verfasser bedient sich als Zwischenlage eines U-förmig gebogenen Gummischlauches; vier Holzklammern, wie sie der Photograph zum Aufhängen der gesilberten Papiere verwendet, drücken die Scheibe gegen den Schlauch. Man hat hierbei den großen Vorteil, die Küvette auseinandernehmen und die Scheiben auch an ihrer Innenseite reinigen zu können, was bei dem vielfach vorkommenden Auskristallisieren der gelösten Substanzen sich als notwendig erweist. Man erhält jetzt auch allerwärts Küvetten, bei denen die Scheiben mit Hilfe von weißer Emaille im Muffelofen auf die Zwischenlage aufgeschmolzen sind. Hierdurch wird vollständige Widerstandsfähigkeit gegen Alkohol, Äther, Säuren und Alkalien erreicht. Um den Durchmesser der Flüssigkeitsschicht nach Belieben abstufen zu können, fertigte man Küvetten, die sich wie eine Ziehharmonika ausziehen lassen. Praktischen Wert besitzen dieselben nicht, da man durch größere oder geringere Konzentration der Lösung dasselbe erreicht. Es wäre wünschenswert, die Behälter allgemein mit einem lichten Durchmesser von 1 cm herzustellen.

Wird es notwendig, die Küvette nicht senkrecht, sondern wage recht anzubringen, so muß man in eine der allseitig geschlossenen Schmalseiten ein kurzes, rechtwinklig gebogenes, oben offenes Rohr einkitten, damit die Flüssigkeit auch bei vollständig gefülltem Behälter die Möglichkeit hat, sich bei stattfindender Erwärmung auszudehnen. Die in einigen Handlungen käuflichen Absorptionsflaschen sind nicht zu empfehlen, da wohl die äußeren Wände derselben parallel und völlig eben geschliffen sind, nicht jedoch die inneren.

Verschiedene Autoren verwendeten die absorbierenden Flüssigkeiten in kugelförmigen Behältern, in Schusterkugeln oder hohlen, plankonvexen Linsen[2]. Bestimmte Vorteile werden hierdurch nicht geboten; da aber derartige Vorrichtungen stets sehr unvollkommene Linsen darstellen, so bleibt es auf jeden Fall besser, die gewünschte Lichtfarbe durch Flüssigkeitsschichten von bestimmter, gleichmäßiger Dicke zu erzeugen und die zur Beleuchtung des Objektes notwendige Beugung der Strahlen durch besondere Linsen herbeizuführen.

---

[1]) Z. B. bestehend aus 5 Teilen Kolophonium, 1 Teil gelbem Wachs und 1 Teil Caput mortuum; vor dem Gebrauche anzuwärmen.

[2]) Derby, American Monthly Microscopical Journal Bd. II S. 24.

Eine der am längsten bekannten Absorptionsflüssigkeiten zur Erzeugung von blauem Licht ist die BARRESWILsche oder FEHLINGsche Lösung[1]. Das sichtbare Spektrum derselben erstreckt sich vom Rot, wo es die größte Helligkeit besitzt und man die Linie *C* noch deutlich sieht, bis zum Violett, wo die Linien *H* nur mit Mühe erkannt werden. Der chemische Teil des Spektrums beginnt für gewöhnliche Platten zwischen Grün und Gelb, reicht bis zur Linie *H*, erstreckt sich aber nicht in die ultraviolette Region. Bei dieser Gelegenheit sei bemerkt, daß verschiedene Plattensorten für dasselbe Licht verschiedene Empfindlichkeit besitzen. Dies war den Forschern schon längst bekannt, und es konnte denselben nicht entgehen, daß aus diesem Grunde bei Aufnahmen mit ein und demselben Objektiv die bei bestimmten Plattensorten sich bemerkbar machende Fokusdifferenz bei Verwendung anderer Platten verschwand[2].

Die jetzt allgemein gebräuchlichen Bromsilber-Gelatine-Trockenplatten, welche für blaues und violettes Licht hohe, für grünes und gelbes Licht geringe Empfindlichkeit besitzen, lassen sich durch Behandeln mit gewissen Anilinfarben, insbesondere durch Baden in Lösungen von Erythrosin[3], derart umstimmen, daß sie nunmehr für Grün und Gelb stark erhöhte Empfindlichkeit zeigen. Die Auswahl der richtigen Plattensorte spielt also bei allen Versuchen mit Lichtfiltern eine wesentliche Rolle.

Das durch eine mit FEHLINGscher Lösung gefüllte Küvette hindurchtretende Licht ist, wie wir aus dem Spektrum desselben ersehen, nichts weniger als einfarbig. Zwar fehlen die bei Erzeugung der Fokusdifferenz stark beteiligten ultravioletten Strahlen, dagegen sind die roten und gelben, welche bei scharfem Einstellen auf der Visierscheibe für das Auge am meisten wirken, stark vertreten. Daher gelingt es nicht, mit Hilfe dieser Lösung die Fokusdifferenz ganz zu beseitigen. Durch die Möglichkeit, nur einen eng begrenzten Teil des Spektrums für die Beleuchtung des Objektes verwenden zu können, ist das Prisma den meisten Absorptionsflüssigkeiten weit überlegen.

Neben der FEHLINGschen Lösung wird das Kupferoxydammoniakfilter von den Mikrophotographen schon lange Zeit benutzt. Man stellt

---

[1]) 34,6 g Kupfervitriol werden gelöst in 200 cm Wasser; ferner 173 g weinsaures Natronkali (Seignettesalz) in 600 ccm einer Natronlauge von 1,12 spez. Gew. Nach dem vollständigen Auflösen mischt man beide Flüssigkeiten und füllt auf ein Liter auf. Die Mischung hält sich nur in vollgefüllten, gut verkorkten Flaschen.

[2]) MOITESSIER, a. a. O. S. 178.

[3]) Näheres hierüber in Abschnitt VI.

dasselbe her durch Auflösen von schwefelsaurem Kupferoxyd (Kupfervitriol) in Salmiakgeist (Ammoniak). Die verschiedenen Konzentrationsgrade bedingen sehr verschiedene Durchlässigkeit für die einzelnen Abschnitte des Spektrums. In äußerst konzentriertem Zustande, wie man dasselbe erhält durch Auflösen von 1 Teil fein gepulvertem Kupfervitriol in 4 Teilen Ammoniak von 0,96 spez. Gewicht, tritt nur blaues, violettes und ultraviolettes Licht hindurch; bei dünnerer Schicht oder Verdünnung mit Wasser kommt allmählich blaugrünes und grünes Licht hinzu, so daß schließlich durch die noch recht dunkelblau aussehende Flüssigkeit Lichtstrahlen von Wellenlänge 515 ihren Weg finden. Das Einstellen ist dabei unter Anwendung einer sehr starken Lichtquelle, z. B. der Sonne, leicht, recht schwierig jedoch bei Lampenlicht, wegen der hochgradigen Verdunkelung des Gesichtsfeldes.

Also auch das Kupferoxydammoniak-Filter vermag die Fokusdifferenz nicht völlig zu beseitigen; bei schwachen Lösungen gehen zu viel optisch wirksame Strahlen hindurch; bei starken schaden die überwiegenden ultravioletten Strahlen.

Hat man unter Anwendung eines mit Fokusdifferenz behafteten Systems mit weißem Licht auf der Visierscheibe scharf eingestellt und beleuchtet nun mit einfarbigem blauen Licht, so kann, wenn sonst an der Einstellung nichts geändert ist, das Bild dem Auge nicht mehr scharf erscheinen. Vielmehr wird eine gewisse Drehung der Mikrometerschraube oder eine passende Verschiebung der Visierscheibe notwendig, um wieder scharfe Umrisse zu erhalten. Dies findet aber nur dann statt, wenn man mit blauem Licht von eng begrenzter Wellenlänge arbeitet. Treten, wie bei den soeben besprochenen Filtern, auch grüne, gelbe und rote Strahlen hindurch, so hat die Zwischenschaltung der blauen Lösung für das Auge keine wesentliche Veränderung der Schärfe zur Folge.

Das Kupferoxydammoniak-Filter, welches in sehr konzentriertem Zustande nur wegen seiner Durchlässigkeit für ultraviolette Strahlen die Fokusdifferenz nicht völlig beseitigt, muß befriedigende Resultate ergeben, sobald es gelingt, das ultraviolette Licht auszuschließen. Nun absorbieren bekanntlich Lösungen von schwefelsaurem Chinin (1 : 100), welche mit einigen Tropfen Schwefelsäure angesäuert wurden, alle ultravioletten Strahlen; man hat demnach nur nötig, außer einer Küvette mit konzentriertem Kupferoxydammoniak noch eine solche mit Chininlösung zwischen Lichtquelle und Objekt einzuschalten, um ein Licht herzustellen, bei dem Fokusdifferenz ausgeschlossen ist. Auch Lösungen von Äskulin (1,5 : 100) absorbieren die ultravioletten Strahlen.

Sobald das Objekt nicht unbedingt blaues Licht erfordert, ist es zur Vermeidung der Fokusdifferenz das Einfachste, man photographiert mit dem optisch wirksamen Teil des Spektrums, also den grünen und gelben Strahlen. Bis vor 25 Jahren standen diesem Verfahren schwer zu überwindende Schwierigkeiten entgegen, da die gewöhnlichen Platten für diesen Abschnitt des Spektrums äußerst geringe Empfindlichkeit besitzen. Man hätte also die Belichtungszeit beinahe ins Unendliche verlängern müssen.

Seit Einführung der orthochromatischen Platten, besonders der Erythrosinplatten, sind diese Schwierigkeiten behoben. Es erübrigte nur, ein Lichtfilter zu finden, welches ausschließlich grüne und gelbe Strahlen von eng begrenzter Wellenlänge hindurchtreten läßt. Hierzu ist das ZETTNOWsche Filter[1] am meisten geeignet. Dasselbe wird hergestellt durch Auflösen von 160 g trockenem, reinem Kupfernitrat und 14 g reiner Chromsäure mit Wasser zu 250 ccm. Eine solche Mischung läßt bei 1 cm dicker Schicht nur gelbgrüne Strahlen von Wellenlänge 570—550 hindurch, für welche die Erythrosinplatte besonders hohe Empfindlichkeit besitzt. Bei größerer Verdünnung treten orangefarbene Strahlen hinzu.

Bequemer herzustellen und für fast alle Fälle in 1—2 cm dicker Schicht ausreichend ist eine Lösung von 175 g Kupfervitriol, 17 g doppeltchromsaurem Kali und 2 ccm Schwefelsäure in 0,5 bis 1 Liter Wasser; auch hierdurch werden alle blauen und violetten Strahlen verschluckt.

Eine für das Auge fast gleiche Färbung, wie das saure Kupferchromfilter besitzen eine Reihe anderer grüner Flüssigkeiten oder Verbindungen von gelben und blauen Farbstoffen, ohne jedoch dem Zwecke zu entsprechen, wie jenes. Man erhält z. B. eine dem äußeren Ansehen nach der obigen sehr ähnliche Flüssigkeit durch Übersättigen von Kupfersalzen mit Ammoniak und Versetzen mit chromsaurem Kali; dieselbe läßt jedoch nur solche grüne Strahlen hindurch, etwa von Wellenlänge 510—455, für welche die Erythrosinplatte geringe Empfindlichkeit zeigt, so daß die Platte bei Benutzung des ammoniakalischen statt des sauren Kupferchromfilters außerordentlich lange Belichtung erfordern würde.

GIFFORD[2] empfiehlt ein Lichtfilter von Malachitgrün. Dasselbe läßt in wässeriger Lösung drei getrennte Lichtstreifen hindurch: ein schmales, dunkles Band im Rot, ein breiteres, helles im Blaugrün

---

[1]) Zentralblatt f. Bakteriologie u. Parasitenkunde Bd. IV, 1888, S. 51.
[2]) Journal of the Royal Microsçopical Society 1894 S. 164.

und ein nur photographisch nachweisbares im Ultraviolett. Bei Lösung dieses Farbstoffes in Glyzerin ist das rote Band so schwach, daß es vernachlässigt werden kann; das blaugrüne ist jedoch sehr hell. Setzt man einen Pikrinsäurekristall hinzu, so verschwindet das für die Mikrophotographie schädliche ultraviolette Band vollständig. Gifford empfiehlt das so hergerichtete Filter besonders deshalb, weil es Benutzung von Erythrosinplatten überflüssig mache, da schon die gewöhnliche Platte ausreichende Empfindlichkeit für diejenigen (blaugrünen) Strahlen besitze, welche das Malachitgrün passieren. Wir können uns dieser Empfehlung aus zwei Gründen nicht anschließen: Erstens ist die Empfindlichkeit sowohl der gewöhnlichen Platte wie der Erythrosinplatte gerade für blaugrüne Strahlen geringfügig; zweitens bietet die Erythrosinplatte für den Mikrophotographen noch ganz eigenartige Vorteile, über die wir später (Abschnitt VI, Teil 1) sprechen werden. Der Mikrophotograph möge daher niemals ohne zwingendste Gründe von Benutzung der Erythrosinplatte abgehen!

Arbeitet man mit einer Lichtquelle, welche (wie Petroleum-Kalk-Auer-Licht) viel gelbe und grüne, aber wenig blaue und violette Strahlen aussendet, so leistet zur Beseitigung der Fokusdifferenz auch das Pikrinfilter gute Dienste. Eine gesättigte, wässerige Pikrinsäurelösung in 1 cm dicker Schicht läßt Strahlen vom Rot bis zum Blaugrün hindurchtreten; hiervon üben aber rote und blaugrüne auf die Erythrosinplatte kaum nennenswerte Wirkung aus. Es bleibt daher ein schmaler Bezirk von wirksamen Strahlen übrig. Gegenüber dem Zettnowschen Filter hat das Pikrinfilter den Vorzug größerer Helligkeit, was bei nicht sehr kräftigen Lichtquellen ins Gewicht fällt. Für Sonnenlicht und elektrisches Bogenlicht ist das Zettnowsche Filter vorzuziehen; leider besitzt es große Neigung, durch Eindringen in die Kittflächen und Auskristallisieren die Küvetten zu sprengen.

Das Pikrinfilter läßt sich auch in trockenem Zustande verwenden und ist seine Handhabung dann besonders bequem: Man fixiert eine nicht belichtete Bromsilber- oder Chlorsilbertrockenplatte aus und wäscht gründlich; badet man sie nunmehr in gesättigter, wässeriger Pikrinsäurelösung, so erhält man eine Gelbscheibe, welche sich zum Lichtfilter vortrefflich eignet.

Ähnlich wie das Pikrinfilter wirkt Lösung von Martiusgelb oder fünfprozentige Lösung von doppeltchromsaurem Kali. Auch Verbindung von Martiusgelb mit Methylenblau wurde empfohlen (Kaiserling), außerdem eine große Menge anderer Stoffe, auf die genauer einzugehen sich nicht verlohnt. Der Mikrophotograph wird mit den oben angeführten Filtern in allen Fällen auskommen.

Jedes Lichtfilter, welches Strahlen von engbegrenzter Wellenlänge hindurchläßt, ist zur Beseitignng der Foknsdifferenz verwendbar. Nur ist im Auge zu behalten, daß die benutzte Plattensorte für die angewendete Strahlenart hochgradige Empfindlichkeit besitzen muß und daß die Strahlen auch von dem Auge mit genügender Helligkeit empfunden werden.

Neben der Konzentration der Lösung und der Dicke der Flüssigkeitsschicht, welche die Strahlen zu passieren haben, schrieb man früher allgemein auch der Stellung der Küvette Einfluß zu auf die Menge der zur Resorption gelangenden Strahlen. Moitessier[1] sagt: „Die Stellung der Küvette im Beleuchtungsapparate ist von Wichtigkeit, denn sie gestattet innerhalb gewisser Grenzen die Wirkung der Absorptionsflüssigkeit auf die Strahlen der Lichtquelle abzustufen. Das Höchstmaß der Absorption wird erreicht, wenn man die Küvette in die Bahn der Lichtstrahlen einschaltet, noch ehe sie auf die Sammellinse gelangen. Stellt man sie dagegen zwischen der Sammellinse und ihrem Brennpunkte auf, so ist die Absorption um so geringer, je näher sie sich dem Brennpunkte befindet, je kleiner also der von dem Lichtkegel durchsetzte Teil der Absorptionsflüssigkeit ist.“

Nicht wenige Mikrophotographen sind auch jetzt noch der Ansicht, daß obige Behauptung Moitessiers zutreffend ist.

Um das Irrige dieser Behauptung zu beweisen, stellte Verfasser folgenden Versuch an: Eine gelbe Scheibe wurde anstatt des Präparates auf den Objekttisch gelegt und mit Hilfe einer 10 cm im Durchmesser messenden Sammellinse durch eine Petroleumflamme derart erleuchtet, daß das Bild der Flamme im Innern der gelben Scheibe lag. Nunmehr wurde mit einem schwachen Objektivsystem (Hartnack No. IV) auf das Innere der Scheibe, also auf das Flammenbildchen, scharf eingestellt und in gewöhnlicher Weise mit Hilfe eines Projektionsokulares ein heller Lichtkreis auf der Visierscheibe entworfen, genau so, als ob sich ein Präparat auf dem Objekttisch befände. Hierauf wurde eine gewöhnliche (nicht orthochromatische) Bromsilber-Gelatineplatte (von Sachs) so in die Kassette eingelegt, daß die dem Mikroskop zugekehrte, lichtempfindliche Schicht von einer Sensitometerplatte bedeckt war. Letztere ist hergestellt durch Bekleben einer Glasplatte mit 1 qcm großen Rechtecken von Seidenpapier in verschieden starker Lage. Die in die Rechtecke eingetragenen Nummern 1 bis 30 zeigen die Zahl der Seidenpapierlagen in jedem Rechteck an. Die Dichtigkeit nimmt also mit steigender Nummer zu.

[1]) A. a. O. S. 185.

Die Belichtung währte genau 15 Minuten. Ohne das geringste an der Einstellung zu ändern, wurde nunmehr die gelbe Scheibe vom Objekttisch entfernt und zwischen Lichtquelle und Kondensorlinse, in unmittelbarer Nähe der letzteren, aufgestellt, dann die belichtete Trockenplatte durch eine unbelichtete von derselben Emulsion ersetzt und unter der Sensitometerplatte abermals 15 Minuten exponiert.

Bei der Entwicklung beider Platten, die gleichzeitig in derselben Schale vorgenommen wurde, zeigte sich, daß bei beiden Anordnungen des Versuches gleich viel Licht durch die gelbe Scheibe zurückgehalten war, obgleich der Lichtkegel in dem ersten Falle einen verschwindend kleinen Abschnitt der Scheibe, in dem zweiten dagegen eine kreisförmige Fläche von etwa 10 cm Durchmesser passiert hatte. Das Bild kam auf beiden Platten genau gleichzeitig mit derselben Kraft. In den fertig entwickelten Negativen konnten die Ziffern 1 bis 16 deutlich wahrgenommen werden. Ziffer 18 und 19 ließ sich noch mit Mühe erkennen; bei 20 hatte die Sache auf beiden Platten ein Ende.

Nunmehr wurde die gelbe Scheibe durch eine 3 mm dicke Schicht einer gesättigten Pikrinsäurelösung ersetzt und der Versuch in beschriebener Weise wiederholt. Das Resultat war dasselbe wie mit der gelben Scheibe.

Hieraus geht also aufs klarste hervor, daß es völlig gleichgültig ist, ob das Lichtfilter nahe der Sammellinse oder nahe dem Brennpunkte derselben steht. Nur die Länge des Weges, den jeder einzelne Lichtstrahl in dem absorbierenden Medium zurücklegt und nicht die absolute Menge der Absorptionsflüssigkeit oder des farbigen Glases, welche von dem Lichtkegel durchsetzt wird, beeinflußt die Menge des zur Absorption gelangenden Lichtes.

Man empfahl auch, die Schirmwirkung der orthochromatischen Platte zur Ausmerzung der Fokusdifferenz zu benutzen und aus diesem Grunde die Platten nicht allein mit Erythrosin, sondern auch mit Eosin zu sensibilisieren, weil sich die Schirmwirkung des Eosin vom Grün bis zum Ultraviolett erstrecke[1]. Das heißt also mit anderen Worten, man soll das Lichtfilter in die Bildschicht verlegen. Wir bemerken hierzu, daß Benutzung der Schirmwirkung der ungeeignetste Weg zur Beseitigung der Fokusdifferenz ist, den es überhaupt gibt; denn das Bild entsteht zum erheblichen Teile in den oberflächlichen Schichten der Platte, wo Schirmwirkung noch nicht zur Geltung kommt.

[1]) Photographische Rundschau 1901, Heft 2, S. 43.

Die Art der Lichtquelle spielt bei der Fokusdifferenz eine wesentliche Rolle. Arbeitet man mit einem Licht, welches wie die Petroleum- oder Gasflamme, oder beinahe jede durch Glühen gewisser Körper erzeugte Lichtsorte, arm an blauen und violetten, dagegen reich an gelben und grünen Strahlen ist, so macht sich die dem Objektiv anhaftende Fokusdifferenz viel weniger störend bemerkbar, als wenn man das an violetten und ultravioletten Strahlen reiche Sonnenlicht benutzt, und zwar besonders dann, wenn die verwendeten Platten für die optisch wirksamen Strahlen hervorragend empfindlich sind.

Die Unvollkommenheit der Lichtfilter und die durch jede absorbierende Substanz verursachten, erheblichen Lichtverluste ließen frühzeitig das Verlangen nach Objektiven wach werden, welche auch im weißen Lichte Fokusdifferenz nicht aufweisen. Nun ist zu bemerken, daß Objektive mit sehr kurzer Brennweite, also stark vergrößernde, der Regel nach verschwindend geringfügige Fokusdifferenz haben. Je größer die Brennweite, um so weiter getrennt liegen optischer und chemischer Fokus.

Wales in Amerika und Gundlach in Berlin, später auch Seibert und Krafft in Wetzlar, suchten das bei photographischen Objektiven längst gelöste Problem der Vereinigung des optischen und chemischen Fokus für Mikroskopobjektive zu lösen. Doch mußte man sich infolge der bereits angedeuteten Unmöglichkeit, mehr als zwei Strahlen auf die gleiche Brennweite zu bringen, darauf beschränken, die chromatische Differenz der sphärischen Abweichung so zu verbessern, daß die Systeme nicht für die optisch, sondern für die chemisch am meisten wirksamen Strahlen (Blauviolett) das beste Bild lieferten. Wenngleich diese Gläser wesentlich Besseres leisteten, als gewöhnliche Objektive, so konnten sie doch nicht voll befriedigen, da das sekundäre Spektrum unkorrigiert blieb. Wandel wurde in diesem Punkte erst durch die vereinten Bemühungen von Abbe, Schott und Zeiss geschaffen. Bei den Apochromaten tritt aus den früher erörterten Gründen das beste chemische Bild in derselben Ebene, wie das beste optische auf. Da nicht zwei, sondern je drei Farben in einem Punkte zur Vereinigung gelangen, so wird der Spielraum der Fokusdifferenzen für verschiedene Farben des Spektrums vom sichtbaren bis weit in den chemisch wirksamen Teil desselben hinein auf den siebenten bis zehnten Teil verringert, also praktisch völlig aufgehoben, und dies für jede Zone des Objektives in gleicher Weise.

Bei den zu Aufnahmen mit ultraviolettem Licht benutzten Quarzobjektiven, den Monochromaten, macht sich selbstverständlich Fokusdifferenz nicht bemerkbar, weil man mit Licht von ganz eng begrenzter Wellenlänge arbeitet.

4. Die Vergrößerung

Die Vergrößerung auf der Visierscheibe ist abhängig von dem Vergrößerungsvermögen des Objektives und Projektionsokulares, der Tubus- und Kameralänge. Beim Arbeiten ohne Okular kommt die Okularvergrößerung und der Einfluß der Tubuslänge in Fortfall.

Von wesentlicher Bedeutung für die Güte des Bildes ist nur die Objektivvergrößerung; durch starkes Okular, lange Kamera oder gar nachträgliche Vergrößerung des Negatives wird das Bild lediglich in die Länge gezogen, ohne mehr Einzelheiten aufzuweisen. Heutzutage ist dies jedem verständigen Mikroskopiker so bekannt, daß es überflüssig erscheinen könnte, hierüber ein Wort zu verlieren. Es gab Zeiten, in denen dies anders war. Als die Mikrophotographie anfing, aus den ersten Kinderschuhen herauszutreten, begrüßte man dieselbe als ein vortreffliches Mittel, die Leistungsfähigkeit der damals noch mangelhaften Mikroskope wesentlich zu erhöhen. Schien nunmehr doch der Vergrößerung kaum eine Schranke gesetzt zu sein! Das direkte Vergrößern mit Hilfe einer sehr langen Kamera war freilich eine mißliche Sache, da die hierbei notwendigen langen Expositionen bei den nassen Platten recht verdrießlich sein konnten. Doch bot die nachträgliche Vergrößerung der Negative eine Handhabe, die Linearvergrößerung ins fabelhafte zu steigern. Schon Pohl und Weselsky[1] empfahlen die nachträgliche 10- bis 15 fache Vergrößerung des Negatives. Gerlach[2] brachte Methode in die Sache. Er wies darauf hin, daß bei den mikroskopisch kleinen Glasbildchen, welche, kaum ein Quadratmillimeter groß, dem unbewaffneten Auge als ein mehr oder weniger verwaschener, schwarzer Fleck erscheinen, bei 50- bis 100 maliger Vergrößerung sich zu bestimmt und scharf gezeichneten Bildern auflösen. Hierdurch sei der Beweis geliefert, daß die feine Zeichnung des photographischen Bildes weit über das Auffassungsvermögen des unbewaffneten Auges hinausgehe.

Nun ist aber die Verkleinerung eines makroskopischen mit der Vergrößerung eines mikroskopischen Objektes ganz und gar nicht zu vergleichen. Arbeitet man bei mikrophotographischen Aufnahmen mit nicht allzu geringfügiger Balgenlänge, so vermag das unbewaffnete

---

[1]) Bericht der Wiener Akademie 1857 S. 317.

[2]) Gerlach, J., Über die Steigerung der Vergrößerung auf photographischem Wege: Monatsberichte d. kgl. Akademie d. Wissenschaften zu Berlin 1861, Juniheft S. 596.

Auge im Negativ ausnahmslos alle Einzelbeiten genau zu unterscheiden, die in demselben überhaupt vorhanden sind. Mitunter ist es allerdings nicht unvorteilhaft, eine 2- bis 3malige, nachträgliche Vergrößerung des Negatives eintreten zu lassen, um besonders dem weitsichtigen Auge das Erkennen feiner Einzelheiten zu erleichtern. Stärkere Vergrößerungen sind jedoch zu verwerfen, da durch dieselben das Korn der Platte mit vergrößert und infolgedessen ein unangenehmes, sandiges Aussehen des Bildes erzeugt wird. Die jetzt allgemein verwendeten Trockenplatten gestatten um so weniger erhebliche, nachträgliche Vergrößerung, als ihr Korn viel gröber ist, als bei den alten, nassen Kollodiumplatten. Überdies gehen bei jeder Vergrößerung immer Halbtöne verloren.

Wie kritiklos man bei Steigerung der Vergrößerung ohne gleichzeitige Steigerung des Auflösungsvermögens der Objektive verfuhr, beweisen die 20000fachen Vergrößerungen von Diatomeen (Pleurosigma angulatum), die vor Jahren in Amerika großes Aufsehen machten und in vereinzelten Exemplaren auch nach Europa gelangten. Ein abschreckendes Beispiel von übermäßiger Vergrößerung lieferte noch in späterer Zeit Crookshank in seinem Werke: Photography of bacteria (London 1887).

Man wähle nie stärkere — aber auch nie schwächere — Vergrößerungen, als das klare Erkennen aller Einzelheiten im Bilde unbedingt erheischt. Im allgemeinen gilt folgendes: Bei Diatomeen mit gröberer Zeichnung genügt in der Regel 50- bis 100fache Linearvergrößerung, bei solchen mit feinerer muß man jedoch viel weiter gehen. Beispielsweise werden die ungemein zarten Einzelheiten von Amphipleura pellucida erst bei mindestens 1000facher Linearvergrößerung dem Auge deutlich sichtbar. Histologische Präparate erfordern nur in den seltensten Fällen mehr als 200 linear. Bei Aufnahmen von Bakterien und Kokken ist es zweckmäßig, sich an eine bestimmte Vergrößerung zu halten, um die verschiedenen Organismen in bezug auf ihre Größe miteinander vergleichen zu können. R. Koch, der zuerst brauchbare Mikrophotogramme von Bakterien herstellte, wählte 700 als Normalvergrößerung, denn dies war bei den damaligen, besten Wasserimmersionen die äußerste nutzbare Grenze. Seit Einführung der Ölimmersionen kann man wesentlich weiter gehen; es empfiehlt sich, Bakterienaufnahmen in 1000facher Linearvergrößerung zu fertigen. Eine Ausnahme hiervon bilden nur Schnittpräparate, bei denen es weniger darauf ankommt, die Form der Mikroorganismen, als ihre Lagerung im Gewebe zu veranschaulichen. Schon um im Photogramm einen größeren Abschnitt des Gewebes überblicken zu

können, geht man hierbei über 500fache Linearvergrößerung nicht gern hinaus.

Für ganz schwache Vergrößerungen bedarf man keines mikroskopischen Objektives, da hierzu die gewöhnlichen Landschaftslinsen, besonders die Aplanate, ausreichen. Dieselben sind schon ihres größeren Gesichtsfeldes wegen vorzuziehen. Gerlach[1] bediente sich für 2- bis 10malige Vergrößerung eines kleinen Objektives von Busch mit 11 cm Brennweite. Fritsch empfiehlt die kleinen Aplanate von Steinheil. Bei diesen Objektiven wird das Bild ohne Konkavlinse oder Okular direkt auf der Visierscheibe entworfen.

Zeiss fertigt für schwache Linearvergrößerung nach dem Typus der Apochromate zwei besondere mikroskopische Objektive von 35 und 70 mm Brennweite, welche ebenfalls direkt, ohne Projektionsokular, verwendet werden. Wegen des großen Bildabstandes bedarf es besonderer Vorkehrungen, um Objektive von größerer Brennweite, als 35 mm am Mikroskopstativ anzubringen. Zeiss richtet daher sein großes Stativ für Mikrophotographie (s. Fig. 14 u. 16) derart ein, daß sich nach Herausnahme der inneren Hülse besondere Einsteckrohre in den ungewöhnlich weiten Tubus einführen lassen. Am unteren Ende dieser Einsteckrohre befindet sich das Objektiv, am oberen der Trichter für die lichtdichte Verbindung mit der Kamera. In Fig. 16 (S. 28) sind mehrere Einsteckrohre abgebildet.

Vorzüglich brauchbar für schwache Vergrößerungen sind fernerhin die Mikroplanare von Zeiss (20 bis 100 mm Brennweite). Die Schärfe und Ebenheit der damit erzielten Bilder ist bis zu einer Winkelausdehnung von 30° unübertrefflich. Auch die Mikrosummare von E. Leitz (Wetzlar) mit Brennweiten von 24, 35, 42, 64, 80 und 120 mm, ferner die Mikroluminare von Winkel in Göttingen, die Projektionsobjektive von E. Hartnack (Potsdam), W. und H. Seibert (Wetzlar) und C. Reichert (Wien) sind für dieselben Zwecke sehr geeignet.

Für mittelstarke Vergrößerung eignet sich jedes gute Mikroskopobjektiv. Die Überlegenheit der Apochromate macht sich zwar auch hier geltend; doch sind dieselben nicht so *unbedingt* notwendig, wie bei Aufnahmen mit *stärksten* Systemen.

Handelt es sich um Aufnahmen mit Ölimmersion, so stehen die Aprochromate in ihrer Leistungsfähigkeit weit über den Immersionen gewöhnlicher Art.

---

[1]) Gerlach, Die Photographie als Hilfsmittel mikroskopischer Forschung S. 36.

Berechnung der Vergrößerung. Um die Vergrößerung eines durch irgendeine Methode auf der Visierscheibe entworfenen Bildes zu bestimmen, verfährt man folgendermaßen: Ohne an der Aufstellung des mikrophotographischen Apparates etwas zu ändern, vertauscht man das aufzunehmende Präparat mit einem Objektträger, auf dem ein Maßstab mit bekannter, sehr feiner Teilung angebracht ist[1]. Beträgt die Entfernung der einzelnen Teilstriche voneinander beispielsweise in Wirklichkeit 0,01 mm, auf der Visierscheibe dagegen 1 mm, so ist die unter den obwaltenden Verhältnissen eingetretene Linearvergrößerung 100fach.

Kommt es darauf an, mit bestimmter, z. B. 500facher Linearvergrößerung zu arbeiten, so hat man die Kamera so weit zu verlängern, bis der Abstand der Teilstriche auf der Visierscheibe 5 mm beträgt.

Alle Momente, die zum Erreichen einer gewissen Vergrößerung beitragen, wie Nummer des verwendeten Objektives und Okulares, Länge des Tubus, des Okulares und der Kamera notiere man genau, um jederzeit die gleiche Vergrößerung ohne besondere Vorversuche wieder herstellen zu können. Es ist zweckmäßig, über die erhaltenen Werte eine Tabelle nach folgendem Muster anzulegen:

Objektiv No. X; Projektionsokular No. 2, Teilstrich 7; Tubuslänge 160 mm, Abstand der Visierscheibe vom Objekt 70 cm. Vergrößerung 200 linear.

Objektiv No. Z; ohne Okular; Kameralänge 50 cm; Vergrößerung 50 linear usw.

Zwei Systeme derselben Nummer, aus derselben optischen Werkstatt liefern fast niemals dieselbe Vergrößerung; es sind daher für jedes System Messungen vorzunehmen.

Die im Negativ erhaltene Vergrößerung kann man auch dadurch berechnen, daß man das Bild mit dem Zentimetermaße unter Zuhilfenahme des Zirkels ausmißt und darauf die wahre Größe des Objektes mit dem Okularmikrometer bestimmt. Dividiert man die Bildlänge durch die Objektlänge, so gibt der erhaltene Quotient die Linearvergrößerung an. Ist beispielsweise die Bildlänge 100 mm, die Objektlänge 0,5 mm, so hat das Bild 200fache Linearvergrößerung.

Wenn ein beliebiges Linsensystem mit Brennweite von x mm ein Bild entwirft, welches d mm vom hinteren Brennpunkte des Linsensystems entfernt liegt, so ist die lineare Vergrößerung dieses Bildes $= \frac{d}{x}$. Hiernach würde z. B. ein Objektiv von 4 mm Brennweite,

[1]) Zeiss liefert Objektmikrometer mit Teilung in 0,01 mm.

wenn man es für sich allein zur direkten Projektion des Bildes benutzt, der Reihe nach die Vergrößerungen 10, 100 und 1000 liefern, je nachdem die das Bild auffangende Fläche 40 mm, 400 mm oder 4000 mm vom hinteren Brennpunkte des Objektives entfernt wäre. Da der hintere Brennpunkt sehr nahe der letzten Linsenfläche des Objektives gelegen ist, so dürfen die Bildabstände in diesem Falle von der hintersten Linsenfläche aus gemessen werden.

Wird das Objektiv mit einem Projektionsokular verbunden, so führt letzteres zweierlei Veränderungen herbei. Erstens bewirkt das Hinzutreten des Okularsystems, daß der hintere Brennpunkt des nunmehr wirksamen Gesamtsystems nicht mehr direkt am Objektiv verbleibt, sondern in die Nähe der letzten Okularlinse rückt, und zwar fast genau in die Öffnung des Okulardeckels über der Projektionslinse. Zur Bestimmung der Bildvergrößerung ist der Abstand der Bildebene nunmehr vom Okulardeckel ab zu messen. Zweitens wird durch Hinzutreten des Okulares das System verwandelt in ein Gesamtsystem, dessen Äquivalentbrennweite ein gewisser Bruchteil von der Objektivbrennweite ist. Aus einem Objektiv von x mm Brennweite entsteht ein Gesamtsystem von $\frac{x}{v}$ mm Brennweite, wenn v die betreffende Ziffer der Okularwirkung bedeutet. Diese Ziffer ist in der Reihe der Projektionsokulare von Zeiss durch die Bezeichnung eines jeden Okulares selbst unmittelbar gegeben. Es gibt also das Projektionsokular No. 2 in Verbindung mit einem Objektiv von 4 mm Brennweite ein Gesamtsystem von der Brennweite $\frac{1}{2} \times 4$ mm $= 2$ mm. Daher entwirft bei gleichen Abständen der Platte ein Objektiv von 4 mm Brennweite mit dem Projektionsokular No. 2 ebensogroße Bilder, wie ein Objektiv von 2 mm ohne Okular.

Bei Anwendung der mit genauer Angabe über Brennweite versehenen Apochromate und Projektionsokulare von Zeiss erhält man die Vergrößerung des Bildes, indem man den in Millimetern ausgedrückten Bildabstand (vom Deckel des Projektionsokulares aus gerechnet) durch die Brennweite (Benennung) des Objektives dividiert und die erhaltene Zahl mit der Nummer des verwendeten Projektionsokulares multipliziert[1]. Man kommt demnach zu einer 300fachen Linearvergrößerung, wenn man ein Bild mit dem Apochromat von

[1]) Zeiss, Katalog über Apochromate. Jena 1886. S. 12. — Zeiss, Spezialkatalog 1888 S. 36.

4 mm Brennweite und dem Projektionsokular No. 2 auf eine Entfernung von 600 mm entwirft, denn: $\frac{600}{4} \times 2 = 300$.

Kommt es auf genaueste Feststellung der Vergrößerung an, so gibt die auf Seite 78 beschriebene Methode (Vergleich mit dem Bilde eines Objektmikrometers auf der Visierscheibe) die zuverlässigsten Resultate. Einerseits sind die meisten Optiker ziemlich leichtfertig in den Angaben über die Brennweiten ihrer Objektive, anderseits haben die geringsten, oft kaum zu vermeidenden Abweichungen der tatsächlichen Brennweite von der für das Objektiv berechneten wesentliche Unterschiede in der Vergrößerung zur Folge.

Für manche Zwecke ist es wünschenswert, einen Maßstab mit bekannter Teilung gleichzeitig mit dem aufzunehmenden Objekte zu photographieren. Auf Veranlassung von Plagge[1] fertigt daher Zeiss Projektionsokulare mit Mikrometer. Um hier zuverlässige Resultate zu erzielen, ist genaueste Innehaltung der vorgeschriebenen Tubuslänge notwendig. Mit feiner Teilung versehene Meßplättchen werden in das Projektionsokular eingeschoben. Die Vorrichtung gestattet, auf der matten Scheibe oder im fertigen Bilde die Vergrößerung mit dem Zirkel abzugreifen. Da das Meßplättchen im Okular verschiebbar ist, so kann man die Teilung an jede beliebige Stelle, z. B. an den Rand der Platte, bringen. Für jedes Objektiv muß ein Glasschieber mit besonderer Teilung angefertigt werden.

Wenig Anklang wird der Vorschlag von Hughes[2] finden, das ganze Bild mit einem Netz von Quadraten zu überziehen, deren Seitenlänge im Bilde sichtbar gemacht ist, und mit deren Hilfe man Messungen vornehmen kann. Ist die Vergrößerung bekannt, so lassen sich jedwede Messungen auch ohne so umständliche Hilfsmittel ausführen.

Durchmesser des Bildes auf der Platte. Infolge der unvermeidlichen Wölbung des Gesichtsfeldes sind nur die mittleren Teile des Negatives scharf gezeichnet. Da nun die unscharfen Randzonen einen ungünstigen Eindruck machen, so tut man gut, den Bildkreis nicht wesentlich größer als die scharfe Zone zu wählen.

Bei Anwendung der Projektionsokulare von Zeiss hängt bei gegebenem Bildabstande der Durchmesser des Bildes auf der Platte ab

---

[1]) Dr. Plagge, Ein neues Projektionsokular mit Mikrometer für photographische Zwecke: Veröffentlichungen aus dem Gebiete des Militär-Sanitätswesens Heft 12.

[2]) Brit. Journ. of Photography Bd. XLII, S. 584.

von dem Durchmesser der innerhalb des Okulares befindlichen Blende. Durch Einsetzen kleinerer oder größerer Blenden oder durch Benutzung der daselbst angebrachten Irisblende läßt sich also die Größe des Bildkreises verändern. Die auf der oberen Linse des Projektionsokulares als Okulardeckel angebrachte Blendung hat keinen Einfluß auf den Durchmesser des Bildes, wohl aber auf den Öffnungswinkel des Systems.

Jede beliebige Einengung des Bildfeldes läßt sich leicht erreichen durch Anbringen einer Blechtafel mit kreisrunder Öffnung unmittelbar vor der Kassette. Zeiss gibt seinem Apparat eine ausreichende Anzahl dieser Tafeln nebst dem zu ihrer Befestigung nötigen Holz rahmen bei.

Natürlich kann man auch auf dem fertig entwickelten Negativ durch mechanisches Entfernen der Randzone den Durchmesser des Bildes verkleinern. Zu diesem Zwecke legt man ein kreisrundes Beschneideglas auf die Mitte des vollkommen getrockneten Bildes, umzieht dasselbe mit einem scharfen Instrument und schabt die von dem Glase nicht bedeckten Stellen der Bildschicht nach gelindem Anfeuchten mit einem Messer ab. Auch kann man mit dem Zirkel auf dem Negativ einen Kreis von beliebiger Größe schlagen. Hierbei wird, um die Mitte des Bildes nicht zu verletzen, die Zirkelspitze aufgesetzt auf einer schmalen, quer über das ganze Negativ reichenden, kräftig gegen das Glas gedrückten Holzleiste. Die außerhalb des Kreises gelegene Bildschicht ist vorsichtig zu entfernen.

Dritter Abschnitt

Die Lichtquelle

1. Allgemeines

Ein Licht erweist sich für die Mikrophotographie als um so wertvoller, je reicher dasselbe an kurzwelligen (blauen und violetten) Strahlen ist. Objektive von bestimmter num. Apertur vermögen nämlich um so feinere Streifensysteme aufzulösen, je kürzer die Wellenlänge des zur Beleuchtung verwendeten Lichtes ist. Der kleinste durch ein bestimmtes Objektiv zu lösende Streifenabstand (e) ergibt sich als Quotient der Wellenlänge (λ) durch die num. Apertur (a)[1]:

$$e = \frac{\lambda}{a}$$

daraus folgt: $\lambda = a.\ e.$

Folgende Tabelle zeigt, ausgedrückt in Millionteil Millimetern, die Wellenlänge für die verschiedenen Fraunhoferschen Linien:

Rot. *A.*	760.	*F.*	486.
B.	687.	Blau. *G.*	431.
C.	656.	Violett. *H.*	397.
Gelb. *D.*	589.	Ultraviolett. Magnesiumlinie.	280.
Grün. *E.*	527.	„ Cadmiumlinie.	275.

Arbeitet man nun z. B. mit einem Objektiv von 1,0 num. Apertur, so wird man bei zentraler Beleuchtung unter Anwendung von rotem Licht mit Wellenlänge 760 ein Streifensystem auflösen können, bei dem die Streifen einen gegenseitigen Abstand von $\frac{0{,}000760}{1} = 0{,}00076$ mm

[1]) Dies gilt nur für zentrale Beleuchtung; für möglichst schiefe Beleuchtung ergibt sich der kleinste Streifenabstand als Quotient der halben Wellenlänge durch die num. Apertur: Dippel, Grundzüge der allgemeinen Mikroskopie S. 158.

haben. Bei blauem Licht mit Wellenlänge 430 kommt dagegen unter sonst gleichen Verhältnissen ein Streifensystem zur Auflösung mit einem Streifenabstand von nur 0,00043 mm. Man kann demnach lediglich durch passende Auswahl des zur Beleuchtung verwendeten Lichtes die Leistungsfähigkeit eines Objektives beinahe um das Doppelte steigern[1].

In der Photographie sind die Verhältnisse besonders durch den Umstand eigenartige, daß die lichtempfindliche Platte auch ultraviolette, dem Auge unsichtbare Strahlen zu sehen vermag. Aus diesem Grunde hat das durch Dr. August Köhler eingeführte Photographieren mit ultravioletten Strahlen die allergrößte Bedeutung. Bei Benutzung der Cadmiumlinie als Lichtquelle ($\lambda = 275$) wird man einen bestimmten Streifenabstand schon mit einem Objektiv auflösen, das nur die Hälfte der numerischen Apertur eines Objektives besitzt, welches denselben Streifenabstand mit weißem Tageslichte ($\lambda = 550$) aufzulösen vermag. Die Leistungsfähigkeit der Mikroskope ist also durch

[1]) Aus obigem erhellt, daß der sehr verbreitete Brauch, die Leistungsfähigkeit eines Systems zu bemessen nach der Möglichkeit, die Streifung einer bestimmten Kieselschale damit aufzulösen, nur dann zuverlässige Anhaltspunkte zur Vergleichung ergibt, wenn man sich zuvor genau verständigt über die Art der Beleuchtung (ob zentrale oder schiefe) und über die Farbe (Wellenlänge) des verwendeten Lichtes. Überdies ist nicht außer acht zu lassen, daß bei derselben Diatomeenart die Streifenabstände nicht unwesentlichen Schwankungen unterliegen. Zu vergleichenden Beobachtungen könnte man die Wellenlänge des hellen Grüns, zwischen den Fraunhoferschen Linien D und E ($\lambda = 550$) wählen, welche gleichzeitig diejenige des weißen Tageslichtes ist.

Die Erörterungen über den Einfluß der Wellenlänge werfen einiges Licht auf die so sehr abweichenden Angaben der verschiedenen Autoren über das für mikroskopische Zwecke am meisten geeignete Licht. Die Widersprüche erklären sich dadurch, daß für verschiedenartige Objekte auch verschiedenartiges Licht erforderlich ist. Der Histologe, welcher mit der Auflösung feinster Streifenabstände nichts zu tun hat, wird mit einem an grünen und gelben Strahlen reichen, für das Auge sehr wirksamen Lichte vortreffliche Resultate erzielen, während der Diatomeenforscher mit dem blauen Lichte des unbewölkten Himmels auf jeden Fall weiter kommt. Ein an kurzwelligen Strahlen armes Licht durch Vorsetzen blauer Lichtfilter blau zu machen, ist eine mißliche Sache, da hierdurch wohl die gelben und roten Strahlen ausgeschieden, die nur spärlich vorhandenen blauen jedoch nicht vermehrt werden.

Das Licht weißer Wolken ist einerseits hell genug, um auch von dunkelen Objekten hinreichend kräftige Eindrücke auf der Netzhaut zu erzeugen, anderseits ist die Wellenlänge desselben eine für die meisten Zwecke genügend kurze. Dasselbe wurde daher am häufigsten als das ‚beste‘ Licht angepriesen.

Benutzung des ultravioletten Lichtes genau um das Doppelte erhöht und die Grenze des Naturerkennens um ein beträchtliches Stück weiter hinausgeschoben. Leider lassen sich die gewöhnlichen Mikroskopobjektive für Aufnahmen mit so kurzwelligem Licht nicht benutzen, weil sie einerseits hierfür nicht korrigiert sind, anderseits die ultravioletten Strahlen überhaupt nicht hindurchtreten lassen. Man mußte also zur Konstruktion besonderer, aus geschmolzenem Quarz gefertigter Objektive greifen (s. S. 51).

Bei glühenden Körpern ist der Reichtum an kurzwelligen Strahlen von der Hitze abhängig; dieselben entsenden erst bei einem Hitzegrad von 1500° C. hellblaue, von 2000° C. violette Strahlen.

Außer von dem Reichtum an kurzwelligen Strahlen hängt der Wert eines Lichtes ab von der Intensität und der gleichmäßigen Helligkeit. Weniger Gewicht ist dagegen der Größe des Lichtpunktes oder der leuchtenden Fläche beizulegen, da man dieselbe durch geeignete, zwischen Lichtquelle und Objekt angebrachte Linsen und Blenden jederzeit regulieren kann. In der Mehrzahl der Fälle läßt sich von einer großen leuchtenden Fläche doch nur ein verhältnismäßig kleiner Abschnitt für die Beleuchtung des Objektes ausnutzen [1].

Von der Intensität des Lichtes ist die Länge der Belichtungszeit abhängig. Da nun bei möglichst kurzen Expositionen die Aussichten auf Gelingen des Bildes die größten sind, so gibt man intensiv hellem Lichte unter allen Umständen den Vorzug. Auch gestaltet sich das Einstellen auf der Visierscheibe um so leichter, je heller das Licht ist. Irrig ist jedoch die Annahme, daß sich mit sehr intensivem Licht feinere Struktureinzelheiten abbilden lassen, als mit einem weniger intensiven. Bei der Okularbeobachtung sieht man, auch wenn man mit Licht von derselben Wellenlänge beleuchtet, unter Anwendung hellen Lichtes zweifellos mehr, als bei matter Beleuchtung; denn die Netzhaut nimmt nur Gegenstände wahr, deren Helligkeit nicht unter eine gewisse Grenze sinkt. Bei der photographischen Platte ist dies anders, da hier die Addition der Lichteindrücke eine wesentliche Rolle spielt. Ein schwach beleuchteter Körper, der bei kurzer Exposition auf der Platte nicht den mindesten Eindruck hinterläßt, bildet sich nicht weniger deutlich wie ein hell beleuchteter ab, wofern man nur die Exposition hinreichend verlängert. So sehen wir, daß der Photograph durch tagelange Belichtung einer Platte prachtvoll durchgezeichnete Photogramme von Mosaiken, Decken-

[1]) Näheres hierüber in Abschnitt IV.

gemälden u. dergl. in dunkelen Kirchen und Kapellen fertigt, wo das Auge des Beobachters nur mit Mühe schwache Umrisse wahrzunehmen vermag[1]. Nichts berechtigt jedoch zu der Annahme, daß die Intensität einen ähnlichen Einfluß wie die Wellenlänge auf das Abbildungsvermögen der Objektive ausübt. Allerdings springt bei Anwendung von intensivstem Sonnenlichte die feinste Zeichnung auf den Kieselschalen der Diatomeen plötzlich heraus, während man sich bei zerstreutem Tageslicht oder gar bei der Lampe vergeblich bemühte, dieselbe sichtbar zu machen. Doch hat dies seinen Grund nicht in der Intensität des Sonnenlichtes, sondern in der reichlich vorhandenen Menge kurzwelliger Strahlen, die bei Lampenlicht so gut wie nicht, bei zerstreutem Tageslichte nur in so geringer Menge anwesend sind, daß ihr Einfluß sich nicht genügend geltend macht.

Nur wo es sich um Sichtbarmachung ultramikroskopischer Teilchen nach der Methode von Siedentopf und Zsigmondy handelt (s. Abschnitt V), werden um so kleinere Teilchen sichtbar, je intensiver das benutzte Licht ist.

Die zur Mikrophotographie verwendete Lichtquelle muß fernerhin ein gleichmäßig helles Licht ausstrahlen: Es sollen einerseits die einzelnen Abschnitte der Flamme oder des glühenden Körpers wesentliche Helligkeitsunterschiede nicht aufweisen; anderseits darf die zu verschiedenen Zeiten von der Lichtquelle gelieferte Lichtmenge Schwankungen nicht unterworfen sein.

Da man, wie wir im folgenden Abschnitte sehen werden, bei der Beleuchtung in der Regel das Bild der Lichtquelle in das aufzunehmende Objekt verlegt, so würden Ungleichheiten in der Helligkeit der leuchtenden Fläche auch verschieden intensive Beleuchtung der einzelnen Abschnitte der Platte zur Folge haben. Ist das Licht bald mehr, bald minder hell, so schwindet jede Sicherheit in der Beurteilung der zum guten Durcharbeiten einer Platte notwendigen Belichtungszeit.

An der Hand dieser Vorbemerkungen wollen wir versuchen, den Wert der verschiedenen Lichtquellen zu prüfen.

[1]) Etwas ganz Entsprechendes findet bei Sternaufnahmen statt, wo auf einer mehrere Stunden lang belichteten Platte weit mehr Sterne sichtbar werden, als das Auge sieht.

2. Sonnenlicht

Das Sonnenlicht ist reich an Strahlen jeglicher Wellenlänge, vom Infrarot bis tief in die ultraviolette Region des Spektrums hinein. Man kann daher unter Anwendung geeigneter Lichtfilter Strahlen von beliebiger Wellenlänge wirken lassen.

Bei histologischen und bakteriologischen Arbeiten stellt man mit den durch Einschalten des ZETTNOWschen Kupferbromfilters[1] erzeugten gelbgrünen Strahlen ($\lambda = 580—540$) vortrefflich scharfe Bilder her; zum Zwecke der Auflösung von Diatomeen ist dagegen den blauen und violetten Filtern der Vorzug zu geben.

Die Intensität des Sonnenlichtes ist so groß, daß selbst bei Beleuchtung mit nur schmalen Abschnitten des Spektrums und bei Anwendung stärkster Vergrößerungen eine Belichtung von Bruchteilen der Sekunde oder höchstens von einigen Sekunden ausreicht. Wegen der starken Wärmeentwicklung hat man besondere Vorsichtsmaßregeln zu treffen, um Erhitzung des Präparates und der Linsen zu vermeiden. Da die Flint-Kronglaskombinationen mit Kanadabalsam zusammengekittet sind, so würde das Objektiv durch Erwärmung unbrauchbar werden, indem der verbindende Balsam ausfließt.

Zur Absorption der Wärmestrahlen empfiehlt sich Einschaltung von Flüssigkeitsküvetten. Arbeitet man mit Lichtfiltern, die aus wässerigen Lösungen irgendwelcher Substanzen bestehen, so ist eine besondere Küvette für Absorption der Wärmestrahlen meist nicht nötig. Wird jedoch Licht von bestimmter Farbe lediglich durch Verwendung farbiger Gläser oder durch Prismen hergestellt, so müssen die Wärmestrahlen durch eine 5 cm dicke, mit Wasser gefüllte Küvette abgefangen werden. Die früher in hohen Ehren stehende Alaunlösung erwies sich für diese Zwecke als wertlos. Weit besser als durch gewöhnliches Wasser werden die Wärmestrahlen abgefangen durch gelbe Farbstofflösungen (Pikrinsäure; Martiusgelb). Bei besonders empfindlichen Präparaten empfiehlt es sich, zur Absorption der Wärmestrahlen noch einen Glastrog hinzuzunehmen, welcher mit fünfprozentiger, etwas angesäuerter Eisenchlorürlösung gefüllt ist.

Mit der gleichmäßigen Helligkeit des Sonnenlichtes ist es leider schlecht bestellt. Zwar weist das in die Objektebene projizierte Sonnenbildchen in seinen verschiedenen Teilen, abgesehen von der äußersten Randzone, verschiedene Helligkeit nicht auf — etwa vor-

[1]) S. Abschnitt II S. 70.

handene Sonnenflecke stören infolge ihrer verschwindenden Kleinheit nicht —, doch kann man mit Fug und Recht behaupten, daß die Helligkeit nicht in zwei aufeinander folgenden Sekunden genau die gleiche ist. Aus diesem Grunde lassen sich für die zu bestimmten Vergrößerungen notwendigen Belichtungszeiten bestimmte Angaben nicht machen. Der Photograph tappt stets im dunkeln und wird erst durch große Übung einige Sicherheit in der richtigen Exposition sich aneignen. Solange die Sonne tief am Horizonte steht, kommen infolge des reichlichen Wassergehaltes der Luft und des langen Weges, den die Strahlen durch die Atmosphäre zurückzulegen haben, die meisten kurzwelligen Strahlen zur Resorption. Bei höher steigender Sonne nimmt die Kraft des Lichtes schnell zu und erreicht in den Mittagsstunden, besonders in den Monaten Mai, Juni, Juli ganz außerordentliche Höhe. In der Zeit von 11 Uhr vormittags bis 1 Uhr nachmittags würde die Helligkeit beinahe gleichmäßig sein, wenn nicht atmosphärische Einflüsse unausgesetzten Wechsel herbeiführten. Die dünnste vor der Sonne vorbeiziehende Wolke, vor allem aber der in der Großstadt niemals fehlende, von Stunde zu Stunde sich mehrende Rauch üben auf die Helligkeit den nachteiligsten Einfluß aus.

Da es zu umständlich ist, den ganzen mikrophotographischen Apparat wie ein Fernrohr auf die Sonne zu richten, so greift man zum Spiegel, um das Licht auf das Objekt zu leiten. Derselbe wird auf dem Fensterbrett oder auf einem festen Untersatz genau in Höhe der optischen Achse der Kamera angebracht. Die Prüfung der Aufstellung erfolgt am einfachsten dadurch, daß man das vom Spiegel ausgehende Licht in die optische Achse des noch nicht mit Linsen ausgestatteten Mikroskopes leitet. Dann muß genau inmitten der Visierscheibe ein heller Lichtfleck erscheinen, so groß wie die Öffnung des Tubus.

Infolge der scheinbaren Bewegung der Sonne würde jedoch das Gesichtsfeld schon nach wenigen Minuten verdunkelt sein; der Spiegel hat demnach dem scheinbaren Wege des Himmelsgestirnes zu folgen. Am besten wird dieser Zweck erreicht durch Heliostaten[1], bei denen ein Uhrwerk den Einfluß der Erdumdrehung aufhebt.

Zeiss[2] empfiehlt, den mikrophotographischen Apparat derart aufzustellen, daß seine optische Achse mit dem vom Heliostaten wagerecht in das Zimmer geleiteten Strahlenbündel einen rechten Winkel

---

[1]) Hartnack in Potsdam und Fuess in Steglitz bei Berlin liefern vortreffliche Heliostaten zum Preise von 180—280 Mark.

[2]) Zeiss, Spezialkatalog 1888 S. 9.

bildet. Man muß dann, um die Beleuchtung des Objektes herbeizuführen, noch einen Spiegel auf dem das Mikroskopstativ tragenden Tisch anbringen, welcher die vom Heliostaten ausgehenden Strahlen auffängt und in die optische Achse des Apparates leitet. Die Einschaltung dieses Spiegels hat gegenüber der direkten Beleuchtung durch den Heliostaten den Vorteil, daß die kleinen Fehler, welche im Gange des Heliostaten selbst bei bester Aufstellung desselben vorkommen, sich während der mikroskopischen Beobachtung vom Apparate aus leicht ausgleichen lassen.

Da es nicht jedermanns Sache ist, für mikrophotographische Arbeiten einen Heliostaten anzuschaffen, so muß man Vorkehrungen treffen, um auch ohne einen solchen auszukommen. Hierzu verwendet man am besten einen nicht zu kleinen, guten Spiegel, der sich auf einem Gestell leicht nach allen Seiten hin drehen läßt. Nun wird zwischen Spiegel und Objekttisch, letzterem parallel und in einer Entfernung von etwa 20 cm von demselben, ein mit fünfmarkstückgroßer Öffnung versehener, weißer Pappschirm aufgestellt. Ein Teil des Lichtes fällt durch diese Öffnung auf das Präparat, ein anderer wird von dem Schirm aufgefangen und erzeugt auf diesem einen an Größe und Gestalt dem verwendeten Spiegel ähnlichen hellen Lichtfleck. Die Umrisse dieses Lichtfleckes umzieht man mit einem Tintenstrich. Während des Einstellens und der mikrophotographischen Aufnahme richtet ein Gehilfe den Spiegel derart, daß der Lichtfleck stets innerhalb des Tintenstriches verbleibt. Befestigt man, wie der Astronom sein Fernrohr, den Spiegel auf einem parallaktischen Stativ, so läßt sich mit Hilfe von Schnüren die Richtung des Spiegels ohne Schwierigkeit von jedem Punkte des Aufnahmeraumes aus bewerkstelligen.

Was die Art der verwendeten Spiegel anbetrifft, so verwerfen viele Autoren die gewöhnlichen, auf der Unterseite amalgamierten Glasspiegel, weil dieselben außer dem Hauptbilde ein lichtschwächeres Nebenbild erzeugen, welches durch Reflexion der Strahlen an der vorderen Glasseite zustande kommt. Doch ist die Schädlichkeit dieses Nebenbildes wegen seiner Lichtschwäche viel geringer, als die meisten annehmen. Die Vorderfläche des Glases zu versilbern und dadurch das Nebenbild unmöglich zu machen, hat auch seine Schattenseiten, weil der Silberüberzug leicht verletzt und abgeputzt wird. Will man, um diese Fehler zu vermeiden, das Glas durch hochpolierte Metallspiegel ersetzen, so kommen hierbei nur Silberplatten oder stark versilberte Kupferplatten in Frage, da die anderen Metalle und Legierungen grünliches, gelbliches oder rötliches Licht geben.

Vor vier Jahrzehnten, als die verhältnismäßig unempfindlichen Platten sehr kräftiges Licht erheischten, wurde direktes Sonnenlicht fast ausschließlich zu mikrophotographischen Arbeiten verwendet. Bald jedoch kam dasselbe in Mißkredit, einerseits wegen der im vorhergehenden namhaft gemachten Mängel, anderseits aus dem Grunde, weil alle mit demselben gefertigten Photogramme starke Diffraktionssäume aufwiesen. Letzteres hat, wie wir im folgenden Abschnitte sehen werden, seinen Grund in dem geringen Öffnungswinkel ($^1/_2{}^0$), mit dem die Strahlen auf das Präparat fallen. Da wir heutigen tags imstande sind, diesen Fehler zu beseitigen, so spricht derselbe nicht mehr gegen die Verwendbarkeit des direkten Sonnenlichtes. Ganz anders steht es mit den in unseren Breiten vorhandenen meteorologischen Verhältnissen. Abgesehen davon, daß in den Wintermonaten der tiefe Stand der Sonne die Vorteile des direkten Sonnenlichtes wesentlich mindert, können wir nur im Hochsommer, und auch dann nicht immer, auf stundenlange Verfügbarkeit des Sonnenlichtes rechnen. Nichts ist verdrießlicher, als wenn man im Schweiße seines Angesichtes alles mit größter Sorgfalt für die Aufnahme vorbereitet hat und dann erleben muß, daß im Momente der Exposition sich Wolken vorlegen, die vielleicht auf Tage nicht wieder weichen. Es sind daher gegenwärtig fast alle Mikrophotographen darin einig, daß direktes Sonnenlicht eine schöne Sache ist, wenn man dasselbe hat, daß es jedoch unbedingt nötig nur dann wird, wenn man Photogramme der am schwierigsten zu lösenden Diatomeen (z. B. von Amphipleura pellucida) fertigen will. Bei allen übrigen Präparaten kommt man mit künstlichem Licht vollkommen aus. Wenn in neuerer Zeit ein Autor wiederum für alle irgendwie stärkeren Vergrößerungen alleinige Verwendung des Sonnenlichtes fordert, so heißt das, den Mikrophotographen auf sechs Monate zur Untätigkeit verdammen und ihm für die übrigen sechs Monate das Arbeiten gründlich verleiden.

Nicht entfernt die Bedeutung wie direktes Sonnenlicht hat für den Mikrophotographen das Licht des wolkenlosen, blauen Himmels, oder das von weißen Wolken und von einer hellen Wand reflektierte Licht. Die Wirksamkeit desselben ist so geringfügig, daß es sich nur für schwache Vergrößerungen verwenden läßt, bei denen man mit künstlichem Licht ebensoweit kommt. Das zerstreute Tageslicht wurde schon in frühen Perioden von verschiedenen Mikrophotographen verwendet. Reichardt und Stürenburg[1] begehen die Abgeschmacktheit, sich den Ruhm für Einführung desselben in die Mikrophotographie zuzuschreiben.

[1]) Reichardt u. Stürenburg a. a. O. S. 25.

3. Die künstlichen Lichtquellen

Die für die Mikrophotographie verwendbaren künstlichen Licht quellen lassen sich folgendermaßen einteilen:

1. Licht erzeugt durch Elektrizität.
   a) Bogenlicht
   b) Glühlicht
   c) Funkenlicht.
2. Licht erzeugt durch Verbrennen von Metallen.
3. Licht erzeugt durch Verbrennen kohlenstoffreicher (fester — flüssiger — gasförmiger) Substanzen.
4. Licht erzeugt durch Weißglut bestimmter Metalle und Erden.

Das elektrische Bogenlicht steht infolge seines Reichtums an kurzwelligen Strahlen und seiner großen Helligkeit dem Sonnenlichte am nächsten. Die besonders zahlreich vorhandenen ultravioletten Strahlen müssen, wofern man nicht beabsichtigt, sie speziell zur Bilderzeugung zu benutzen, behufs Vermeidung von Fokusdifferenz durch ein Filter ausgemerzt werden. Die in neuester Zeit sehr vervollkommneten Lampen liefern zwar ein bei weitem gleichmäßigeres Licht, als die alten Konstruktionen, doch ist auch bei ihnen nicht ausgeschlossen, daß die Helligkeit plötzlich für Sekunden erheblich nachläßt und das bläuliche Licht wohl gar durch rötliches ersetzt wird. Das immerwährende Hin- und Herschwanken, das Springen und Sprühen der Funken bewirkt, daß es sich für die Mikrophotographie mit Vorteil nur nach Einschalten einer matten Scheibe zwischen Lichtquelle und Objekt verwenden läßt. Hierdurch geht jedoch ein erheblicher Teil der Helligkeit verloren. Übrigens wird die Helligkeit des Bogenlichtes, verglichen mit derjenigen des Sonnenlichtes, in der Regel stark überschätzt. Bestes Sonnenlicht ist dem kräftigsten Bogenlichte mindestens um das Zehnfache überlegen.

Donné und Foucault bedienten sich desselben schon in den vierziger Jahren des vorigen Jahrhunderts zu mikrophotographischen Arbeiten. Zur Erzeugung der notwendigen Elektrizität waren 40 bis 50 große Bunsen-Elemente erforderlich; der von Foucault angegebene photoelektrische Regulator sorgt dafür, daß die beiden Kohlenspitzen, zwischen denen der Funke überspringt, in gleichmäßiger Entfernung voneinander gehalten werden. Moitessier[1] gebrauchte die von Dubosq

[1]) Moitessier a. a. O. S. 92.

konstruierte Lampe, welche aus einem Messinggehäuse besteht, in dessen Mitte sich die vom Regulator gehaltenen Kohlenspitzen befinden; ein an der Rückwand befestigter, metallener Hohlspiegel reflektiert die Strahlen auf die an entgegengesetzter Wand angebrachte Sammellinse von kurzer Brennweite, welche das Licht zu einem Bündel paralleler Strahlen sammelt.

Die Erfindung der elektrischen Dynamomaschinen brachte in der Verwendnng des Bogenlichtes gewaltige Umwälzungen hervor, da die Kosten der Elektrizitätserzeugung sich ungemein verringerten. Gleichzeitig erfuhren die Lampen wesentliche Verbesserungen. Da die positive Kohlenspitze ungleich intensiver nnd in größerer Ausdehnung glüht, als die negative, so richtet man die Stellung der Kohlen derart, daß sie nicht wie beim gewöhnlichen Gebranche der Lampe senkrecht übereinander, sondern schräg stehen. Dadnrch wird der glühende Teil der positiven Spitze voll dem Mikroskop zugekehrt, während die negative Spitze ihren glühenden Abschnitt nach der entgegengesetzten Richtung wendet. Um bei Zwischenschaltung der matten Scheibe möglichst wenig Licht zu verlieren, wird die Belenchtung dadnrch bewerkstelligt, daß man mittels eines Kondensorlinsensystems das Bild der glühenden Kohlenspitze auf der Scheibe entwirft. Zur Absorption der Wärmestrahlen stellt man zwischen Sammellinsen und matter Scheibe eine Kühlkammer anf (s. S. 86). Um die allzu große Hitze und etwa absprühende Funken von der ersten Sammellinse abzuhalten, schaltet man eine dünne Glimmerplatte ein.

Wegen der gerügten Nachteile und des verhältnismäßig teueren Preises wird elektrisches Bogenlicht gegenwärtig nur ansnahmsweise zu mikrophotographischen Arbeiten verwendet. Die neuerdings immer mehr in Aufnahme kommenden, kleinen Schwachstrom-Bogenlampen, welche sich an jede für elektrische Glühbirnen eingerichtete Hausleitung anschließen lassen, werden vielleicht das Bogenlicht im Laboratorium des Mikrophotographen etwas mehr einbürgern.

Beachtung für die Mikrophotographie verdienen diejenigen Bogenlampen, welche wegen ihres besonders reichen Gehaltes an blauen und violetten Strahlen jetzt vielfach in Reprodnktionsanstalten verwendet werden. Hierher gehört z. B. die Reginabogenlampe.

Elektrisches Glühlicht. van Heurck war der Erste, welcher dasselbe für die Mikrophotographie in Anwendung brachte[1].

[1] Bulletin de la Société belge de Microscopie 1882 S. 59. — Journal de Micrographie 1883 S. 244. — Synopsis des Diatomées de Belgique 1885 S. 219.

Stearn[1] führte besonders für das Mikroskop konstruierte kleine Glühlämpchen ein und befestigte — aus keineswegs zwingenden Gründen — die dazu gehörigen Apparate am Mikroskopstativ. Stein[2] lehnte sich in seinen Veröffentlichungen über denselben Gegenstand eng an die Arbeiten Stearns an. In Fig. 28 ist die Anordnung dargestellt, wie sie Stein in der ‚Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie' abbildet. Das kleine Glühlämpchen zur Beleuchtung im durchfallenden Lichte ist direkt unter dem Objekttisch an Stelle des Spiegels befestigt. Die im Fuß des Mikroskops verlaufenden, spiralig gewundenen Drähte dienen zur Regulierung der elektrischen Stromstärke, indem die in den Spiralen enthaltenen Widerstände einen Teil der Elektrizität in Wärme umwandeln. Durch Drehen an der Kurbel *f* hat man es in der Hand, den Widerstand zu vermehren oder zu verringern und dadurch die Helligkeit beliebig abzustufen. Das bei *g* abgebildete Kurbelsystem hat nur den Zweck, den Strom umzuschalten und durch die oberhalb oder unterhalb des Objekttisches befindliche Lampe zu leiten.

Die feste Verbindung dieser Vorrichtungen mit dem Mikroskopstativ bringt in der Praxis nicht die mindesten Vorteile. Sie verteuert nur die Anschaffung. Ein kleines, auf verstellbaren Stativ befindliches Glühlämpchen, wie dasselbe von Fuess (Steglitz) eigens für mikroskopische Zwecke in den Handel gebracht wird, genügt allen Anforderungen. Die im alltäglichen Leben zu Erleuchtungszwecken benutzten Glühlampen mit langem Kohlefaden sind für den Mikroskopiker unpraktisch, da es hier nicht auf die absolute Lichtmenge, sondern nur auf die Helligkeit eines kleinen Abschnittes des glühenden Fadens ankommt. Wir haben daher nur kleine Lampen mit kurzem Faden nötig, welche gleichzeitig den Vorteil gewähren, daß eine geringere Elektrizitätsmenge ausreicht, um hellste Weißglut zu erzeugen.

Wegen des reichlicheren Gehaltes an kurzwelligen (blauen und violetten) Strahlen ist die Nernst-Lampe der gewöhnlichen Glühlampe überlegen. Über diejenigen Lampen, bei denen der Kohlefaden durch andere Stoffe (Osmium, Tantal usw.) ersetzt ist, läßt sich ein Urteil noch nicht fällen, weil die Konstruktion dieser Lampen noch in den Kinderschuhen steckt.

---

[1]) Stearn, On the use of incandescense lamps as accessories to the Microscope (Journal of the Royal Microscopical Society Ser. II, Bd. III, S. 29).

[2]) Zeitschrift des elektrotechnischen Vereins zu Wien 1883, Heft 7, Oktober. — Elektrotechnische Rundschau 1883, Dezember. — Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. I, 1884, S. 161.

Ein Vorzug des Glühlichtes ist seine gleichmäßige Helligkeit. Das so oft gerühmte Fehlen der Wärmeentwicklung, welches gestatten soll, die Glühlampe dem Objekte mehr zu nähern, als irgendeine

28

andere Lichtquelle, ist eine jener Fabeln, die, einmal in die Welt gesetzt, unausrottbar sind. Die Glaskugel der Glühlampe erhitzt sich kaum weniger, als der Zylinder einer Petroleumlampe.

Je nach der Stromstärke gibt dieselbe Lampe ein Licht von größerem oder geringerem Gehalte an kurzwelligen Strahlen. Bei

großen Stromstärken und sehr kräftigem Glühen wird jedoch der Faden leicht zerstört. Nach den Untersuchungen von FLESCH[1] und O. E. MEYER[2] bestehen im Blau und Violett keine wesentlichen Unterschiede zwischen gewöhnlichem Gaslicht und elektrischem Glühlicht.

Das elektrische Glühlicht konnte sich für mikrophotographische Arbeiten allgemeiner nicht einbürgern, weil es gegenüber billigeren und leichter zu beschaffenden Lichtquellen (Petroleumlicht, AUER-Licht) keine nennenswerten Vorteile bietet.

Eine Abart der Glühlampen sind die Quecksilberdampflampen, bei denen in luftleerer Glasröhre Quecksilberdämpfe durch den elektrischen Strom zum Leuchten gebracht werden. Das Licht derselben ist ungemein reich an kurzwelligen Strahlen. Nur ist die Form der Lampen (lange Glasröhren) für die Mikrophotographie wenig zweckmäßig. Hierher gehört z. B. die Uviollampe von SCHOTT und Genossen in Jena.

Zu Aufnahmen mit ultraviolettem Licht nach dem Verfahren von KÖHLER (S. 50) wird der elektrische Funke benutzt, welcher zwischen Magnesium- oder Cadmium-Elektroden überspringt. Die Wellenlänge des Magnesiumfunkens ist $\lambda = 280$, diejenige des Cadmiumfunkens $\lambda = 275$. Doch ist der Magnesiumfunke nicht einheitlich; er liefert mehrere dicht nebeneinander liegende Linien, während der Cadmiumfunke nur aus einer einzigen Linie besteht. Bei letzterem ist daher das Prinzip des monochromatischen Lichtes am strengsten durchgeführt. Zur Erzeugung dieses Lichtes ist eine ziemlich komplizierte und teuere Vorrichtung erforderlich: Ein Induktor von etwa 10 cm Funkenlänge wird durch Gleichstrom von 110 Volt Spannung in Betrieb gesetzt. Die Elektrodenhalter sind nun einerseits mit der sekundären Rolle des Induktors, anderseits mit den Belägen einer Leydener Flasche verbunden. Der Funkenständer hat im wesentlichen die Einrichtung einer kleinen Handregulierlampe. Die Elektroden sind Cadmium- oder Magnesiumdrähte, die in Metallfassungen an den Elektrodenhaltern befestigt werden. Den Elektrodenenden, zwischen denen der Funke überspringt, gibt man die Form eines Meißels; bei dieser Gestalt stört das Wandern des Funkens am wenigsten.

Unter den Lichtarten, welche erzeugt werden durch Verbrennen von Metallen, nimmt das Magnesiumlicht die vornehmste Stelle ein. Dasselbe ist sehr reich an kurzwelligen Strahlen und besitzt ungewöhnliche Intensität. Leider läßt die gleichmäßige Helligkeit

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. I, 1884, S. 175.
[2]) Zentralblatt für Elektrotechnik Bd. V, No. 21, S. 457.

viel zu wünschen übrig. Man verwendet das Magnesium in besonderen Lampen folgendermaßen: Draht oder schmales, aufgerolltes Band dieses Metalls wird mit Hilfe eines Uhrwerkes gleichmäßig schnell durch eine kurze, enge Röhre vorgeschoben. Am vorderen Ende dieser Röhre findet die Verbrennung statt. In der Regel ist die Anordnung derartig, daß die Flamme im Brennpunkte eines Hohlspiegels sich befindet. Da der bei der Verbrennung sich entwickelnde weiße Rauch auf den Gläsern einen schwer zu entfernenden Niederschlag erzeugen würde, so trägt man dafür Sorge, denselben durch ein mit dem Schornstein in Verbindung gebrachtes Rohr ins Freie zu leiten. Auch hier kann man, wie dies beim elektrischen Bogenlichte beschrieben ist (S. 90), eine matte Scheibe und Kondensorlinsen einschalten. Die Ungleichheiten in der Helligkeit der Flamme, welche die richtige Wahl der Expositionszeit ungemein erschweren, lassen sich freilich hierdurch nicht beseitigen.

Nach Moitessier[1] wird die Intensität des Magnesiumlichtes wesentlich erhöht, wenn man statt des einfachen Magnesiumdrahtes eine aus zwei dünneren Magnesiumdrähten und einem Zinkdraht geflochtene Schnur verbrennt.

Früher stand der allgemeinen Verwendung des Magnesiums der hohe Preis des Metalls im Wege. Durch die vervollkommneten Methoden der Gewinnung ging jedoch der Preis wesentlich herunter, so daß das Kilo Band oder Draht gegenwärtig etwa 50 Mk. kostet. Vermeidet man unnötig langes Brennen der Flammen, so stellen sich die Kosten jeder Aufnahme nur auf einige Pfennige. Während des Einstellens kann man die zwischengeschaltete matte Scheibe durch Petroleum- oder Gaslicht erhellen.

Bei Anwendung von Magnesiumlicht empfiehlt es sich, mit dunkelblauen Lichtfiltern zu arbeiten und vor allen Dingen die ultravioletten Strahlen auszuschließen. Wegen des relativen Mangels an gelben und grünen Strahlen wird man die dem roten Ende des Spektrums nahe gelegenen Abschnitte zur Beleuchtung füglich nicht verwenden.

Magnesiumbandlicht ist hauptsächlich dann von Wert, wenn es (in Ermangelung von Sonnenlicht und elektrischem Bogenlicht) darauf ankommt, mit möglichst kurzwelligen Strahlen zu photographieren.

Magnesium ist auch in fein pulverisiertem Zustande für Beleuchtungszwecke brauchbar; nur muß dasselbe in eigens hierfür konstruierten Lampen abgebrannt werden. Es kommt darauf an, das feine Pulver durch eine Gas- oder Spiritusflamme hindurchzupusten,

[1]) Moitessier, a. a. O. S. 94.

damit dasselbe, während es die Flamme passiert, verbrennt. Eine sehr vollkommene Vorrichtung ersann JAMES[1]: Er schüttet das Magnesiumpulver in einen kleinen, unten in einen Konus endenden Zylinder, welcher oben mit einem Rohr in Verbindung steht, in das man zum Zwecke des Blitzens hineinbläst. Durch den Luftdruck wird das Pulver mittels eines aufwärts gebogenen Rohres in die Mitte eines Argandbrenners geführt, wo es zur Verbrennung gelangt. In der Folgezeit wurde eine Reihe ähnlicher Konstruktionen angegeben, bei denen das Magnesiumpulver, während es durch die Flamme hindurchstreicht, in mehr oder minder vollkommener Weise verbrennt. Um die Verbrennung zu einer möglichst vollständigen zu machen, ersann Dr. MIETHE[2] eine zweckmäßige Abänderung: Der BUNSEN-Brenner, welcher auch durch eine Spirituslampe ersetzt werden kann, trägt zwei in passender Höhe anzuklemmende Hülsen. Die obere derselben steht mit einem knieförmigen Rohr in Verbindung, das einerseits bis an den unteren Flammensaum reicht, anderseits in einem kleinen, verschließbaren, das Magnesiumpulver aufnehmenden Metallgefäß endet. Dies Gefäß ist durch eine rohrartige Verlängerung, über welche der Gummischlauch gezogen wird, mit einer Druckbirne aus Gummi verbunden. Die untere, dem Brenner aufsitzende Hülse trägt ein kreisförmiges Kupferblech, welches unter 45° geneigt, senkrecht über der Öffnung des Brenners sich befindet. Die Flamme schlägt gegen das Kupferblech und wird durch dies Hindernis gezwungen, sich in Form eines Fächers seitlich stark auszubreiten. Bläst man durch kurzen Druck auf die Birne das in dem Metallgefäß vorhandene Magnesiumpulver in die Lampenflamme, so wird dasselbe vollständig verbrannt und erzeugt in einem Bruchteil der Sekunde ein äußerst kräftiges Licht.

Eine andere Methode der Verbrennung von Magnesiumpulver besteht darin, daß man nach dem Vorgehen von GAEDICKE und MIETHE das Metall mit einem Sauerstoff abgebenden Körper, z. B. mit chlorsaurem Kali, vermischt und dann mit einer Lunte anzündet.

Bei allen Aufnahmen mit Magnesiumblitzlicht muß natürlich mit einer dauernd leuchtenden Lichtquelle eingestellt werden. Das Einfachste ist, man benutzt eine Gasflamme zum Einstellen und bläst dann das Pulver durch dieselbe Flamme. Da jedoch leuchtende Flammen wegen der geringeren Wärmeentwicklung sich zum Verbrennen des Magnesiums weniger eignen, als die nicht leuchtende Flamme

---

[1]) British Journal of Photography Februar 1888.

[2]) Photographisches Wochenblatt (Berlin) 1899, No. 48 S. 381.

eines Bunsen-Brenners, so tut man gut, zum Einstellen und Exponieren zwei gesonderte Lampen zu verwenden, oder eine solche Gaslampe, bei der sich die nicht leuchtende Flamme in eine leuchtende umwandeln läßt. Damit nun, was zum Erzielen brauchbarer Bilder durchaus erforderlich ist, die Lichtquelle sich beim Einstellen genau an derselben Stelle befindet, wie beim Exponieren, so erweist sich folgende Anordnung als notwendig: Man befestigt in der optischen Achse des Mikroskops, 20 cm vom Objekttisch entfernt, eine etwa 1—2 cm im Durchmesser messende Blende. Unmittelbar hinter derselben steht während des Einstellens eine Gas- oder Petroleumflamme, welche zum Zwecke der Exposition mit der, das Magnesiumblitzpulver enthaltenden Schale oder mit der Pustlichtflamme vertauscht wird.

Newcomb[1] empfiehlt für orthochromatische (Erythrosin-) Platten ein intensiv gelbes Magnesiumblitzlicht, welches er folgendermaßen herstellt: 1 Teil Magnesiumpulver wird mit 5—7 Teilen reinen salpetersauren Natrons vorsichtig mit Holzspatel vermischt und unter Anwendung eines Zünders entzündet.

Röhmann und Galewsky[2] empfehlen zur Erzeugung eines gelben Blitzlichtes folgendes Rezept:

Mischung A

Fein pulverisiertes Magnesium . . 9,6 g
Wasserfreies, überchlorsaures Kali 13,8 „

Mischung B

Wasserfreies, weinsaures Barium . 5,7 g
Wasserfreies, überchlorsaures Kali 2,7 „

Man mischt 10 Teile von A mit 1 Teil von B und setzt 0,5 g wasserfreies Kochsalz hinzu. Zur Exposition schüttet man 1—3 g dieser Mischung auf ein kleines Schälchen und entzündet mit folgendem Zündpulver:

1 Teil Milchzucker
2 Teile chlorsaures Kali.

Röhmann und Galewsky[3] schlugen auch noch andere Mischungen vor, um einen möglichst hohen Gehalt des Lichtes an gelben und grünen Strahlen zu erzielen:

a) Chlorsaures Kali . . . . . 138 g
Magnesiumpulver . . . . . 96 „

[1]) Photographical Times Bd. XIX S. 247.
[2]) Nach einer persönlichen Mitteilung (1890). Vergl. auch Eders Jahrbuch für 1892 S. 252.
[3]) Anthonys Bulletin 552.

b) Chlorsaures Kali . . . . . 1108 g
Essigsaures Kupfer . . . . 724 „
c) Chlorsaures Kali . . . . . 131 „
Magnesiumpulver . . . . . 342 „

Zum Gebrauche mische man 6 Teile von a, einen Teil von b und 4 Teile von c.

Ferner empfehlen die genannten Autoren: 7 g chlorsaures Kali gemischt mit 7 g neutralem, weinsaurem Baryt und bei 100° getrocknet. Dann werden 3 g Magnesiumpulver und 0,5 g Kochsalz hinzugesetzt.

Je verwickelter die Mischungen werden, um so mehr treten störende Nebenerscheinungen auf: Infolge von Wärmeverbrauch beim Verbrennen der beigemischten Substanzen verliert nämlich das Licht wesentlich an Kraft; überdies zieht sich die Verbrennungsdauer ungewöhnlich in die Länge. Auch ist es unzweckmäßig, bei Blitzpulvermischungen äquivalente Mengen von Magnesium und Sauerstoff abgebenden Körpern zu wählen. Da nämlich der Sauerstoff der Luft mitwirkt, so wird bei äquivalenten Mengen von dem Sauerstoff abgebenden Körper zur Verbrennung nicht alles verbraucht; der Überschuß verbraucht zur Zersetzung seinerseits Hitze und vermindert dadurch die Leuchtkraft des Blitzes.

Verfasser[1] nahm mit reinem Magnesiumpulver und verschiedenen Blitzmischungen Versuche vor, um festzustellen, welches Blitzlicht sich für mikrophotographische Zwecke am besten eignet. Die Untersuchungen erstreckten sich auf Schnelligkeit der Verbrennung, Kraft des Lichtes, Rauchbildung und Vorhandensein der verschiedenen wirksamen Strahlenarten. Das Ergebnis war nach jeder Richtung hin am befriedigendsten bei dem rauchschwachen Blitzpulver von Gaedicke, einer Mischung von Magnesiumpulver und übermangansaurem Kali. Macht man mit dem Spektographen eine Aufnahme dieses Blitzlichtes auf gewöhnlicher Platte, so zeigt sich im Rot, Gelb und Grün nicht die mindeste Lichtwirkung. Auf der Grenze zwischen Grün und Blau treten mehrere helle Linien auf, an welche sich die ununterbrochene helle Zone im Blau und Violett anschließt. Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse auf der Erythrosinplatte: Hier beginnt die helle Zone bereits im Gelb bei der Fraunhoferschen Linie *D*. In der Mitte zwischen *D* und *E* ist die Lichtwirkung überaus stark; zwischen *E* und *F* wird sie verschwindend geringfügig. Im Blau und Violett ergibt sich kein Unterschied gegenüber der gewöhnlichen Platte.

---

[1]) Eders Jahrbuch für 1892 S. 70.

Wiederholt man die Aufnahme auf Erythrosinplatte unter Zwischenschaltung des gelbgrünen ZETTNOWschen Filters, so wird das blaue und violette Licht vollkommen verschluckt; es bleibt nur die starke Lichtwirkung im Gelbgrün.

Verwendet man an Stelle des ZETTNOWschen Filters eine gesättigte wässerige Pikrinsäurelösung, so werden die blauen und violetten Strahlen in völlig ausreichender Weise absorhiert, um die Fokusdifferenz mangelhaft korrigierter Systeme unschädlich zu machen.

Das sind genau die Verhältnisse, wie der Mikrophotograph sie braucht.

Die bei diesem „raucharmen" Blitzpulver auftretende Rauchentwicklung genügt vollkommen, um den Aufenthalt im Arbeitszimmer unerträglich zu machen. Da nun die Ableitung des Qualms durch besondere Rohre nach außen hin kostspielig ist und sich in vielen Fällen überhaupt nicht ausführen läßt, so brennt Verfasser das gemischte Blitzpulver in einer geschlossenen Holzkiste ab, welche an einer Seite ein kleines Fenster besitzt. Außer diesem, durch eine Spiegelglasplatte verschlossenen Fenster befindet sich an einer Seitenwand noch eine kleine Öffnung, durch welche man den Zünder hindurchsteckt. Die Kiste muß mindestens 30 cm im Geviert messen, damit die sich ausdehnenden Gase Spielraum haben. Das Arbeiten mit dieser Vorrichtung gestaltet sich folgendermaßen: Man stellt mit Petroleum- oder Gaslampe ein. Eine unmittelbar vor der Flamme angebrachte Blende hezeichnet den Ort, wo sich die Lichtquelle befinden muß. Nach Entfernung der Lampe wird die Holzkiste auf der optischen Bank so aufgestellt, daß sich das kleine Fenster nahe hei der Blende befindet. In der Kiste wird dicht hinter dem Fenster das gemischte Blitzpulver in 3 bis 4 cm langem, schmalen Streifen aufgeschüttet. An das eine Ende dieses Streifens legt man wenige Körnchen Schießpulver. Zum Zwecke der Exposition führt man durch die seitliche kleine Öffnung den brennenden Zünder (ein an kurzem Holzstabe befestigtes Wachsstreichholz) zum Schießpulver, worauf sogleich das Aufblitzen erfolgt. Nunmehr bringt man die Kiste unverzüglich ins Freie und öffnet den Deckel, damit der Rauch entweichen kann. Die das kleine Fenster verschließende Glasscheibe ist vor jeder neuen Exposition sorgfältig zu putzen.

Entzündung mit Hilfe von Schießpulver erwies sich als sehr zweckmäßig und sicher wirkend. Daß man die Zündung auch auf anderem Wege, z. B. mit Hilfe eines durch Elektrizität zum Erglühen gebrachten Platindrahtes, bewirken kann, ist selbstverständlich.

Für mikrophotographische Zwecke genügen geringfügige Mengen des gemischten Blitzpulvers: eine reichliche Messerspitze voll Magnesiumpulver und etwa der dritte Teil übermangansaures Kali. Beim Mischen sei man recht vorsichtig und vermeide jede Berührung des Pulvers mit Metall. Die Mischung ist stets frisch herzustellen. Es bleibt zwecklos, einen großen Haufen Blitzpulver zur Entzündung zu bringen, da die Blitzflamme undurchsichtig ist und nur ihre Oberfläche leuchtet. Aus diesem Grunde schütten wir, wie oben beschrieben, einen schmalen Streifen Blitzpulver auf.

Man wird Blitzlicht in der Mikrophotographie nur dann verwenden, wenn (zur Herstellung von Augenblicksaufnahmen) ungemein kurze Exposition nötig ist. Der Blitz dauert etwa $^1/_{30}$ Sekunde. Man ist also imstande, bewegliche Mikroorganismen aufzunehmen. Den Beweis hierfür lieferte zuerst Duncker[1]. Er fertigte mit Pustlicht (dessen Blitz etwas längeren zeitlichen Ablauf hat) vortrefflich gelungene Aufnahmen schwimmender Infusorien. Verfasser photographierte ebenfalls schwimmende Infusorien mit der oben beschriebenen Kisteneinrichtung unter Benutzung der Mischung von Magnesium und übermangansaurem Kali. Bei 200facher Linearvergrößerung kam das Bild völlig scharf und gut durchgearbeitet. Versuchsweise photographierte Verfasser auch gefärbte Bakterien in 1000facher Linearvergrößerung (Pikrinfilter). Auch dies Negativ erwies sich als vorzüglich durchexponiert. Um ein gleich gutes Negativ mit Petroleumlicht zu erzielen, wären 4 Minuten (also 7000mal längere) Expositionszeit nötig gewesen.

Man versuchte, das Magnesiumpulver durch feines Pulver von Aluminiumbronze (reines Aluminium ist nicht verwendbar) zu ersetzen; doch bringt das Verfahren keine besonderen Vorteile.

Wo es sich nicht um Augenblicksaufnahmen handelt, das an kurzwelligen Strahlen reiche Magnesiumlicht jedoch von Vorteil ist, empfiehlt sich die Verwendung sogenannter Zeitlichtpatronen, deren Verbrennung mehrere Sekunden dauert. Patronen dieser Art werden z. B. von den Geka-Werken (Dr. G. Krebs) in Offenbach a. M., ferner von Dr. Lüttke und Arndt, Wandsbek bei Hamburg, in den Handel gebracht. Zu berücksichtigen ist aber, daß diese Patronen wie ein Licht herunterbrennen.

Als in früheren Jahren der Preis des Magnesiums noch unerschwinglich hoch war, versuchte man durch Verbrennen anderer Metalle ein photographisch wirksames Licht zu erzeugen. Hierfür geeignet

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. VII, 1890, S. 147.

sind in Sauerstoff verbrennende Zinkspäne. Jetzt gibt man dem Magnesium auf jeden Fall den Vorzug.

Wir kommen nunmehr zur Besprechung der Lichtarten, die erzeugt werden durch Verbrennen kohlenstoffreicher Substanzen. Die festen Körper dieser Art, wie Kohle, Wachs- und Stearinkerzen, kommen nicht in Betracht, da man mit den flüssigen und gasförmigen ein brauchbareres Licht erzielt.

Unter den flüssigen Kohlenstoffverbindungen nimmt das Petroleum den ersten Platz ein. Zwar zeigen die verschiedenen Abschnitte der Flamme verschiedene Helligkeit, doch ist dies gleichgültig, da immer nur ein kleiner Abschnitt zur Wirksamkeit gelangt. Bei Aufstellung der Lampe hat man darauf zu achten, daß der hellste Teil der Flamme ausgenutzt wird. Bei der Wahl der Lampe lasse man sich weniger durch die absolute, von derselben gelieferte Lichtmenge bestimmen, als durch das Vorhandensein eines, wenn auch nur kleinen, recht weißen Abschnittes. Die Frage, ob Rundbrenner oder Flachbrenner, ist nicht ohne weiteres zu beantworten, da beide Konstruktionen weißes Licht geben können. In der Regel zeichnen sich die Flachbrenner durch ein für die Photographie ungeeignetes gelbes Licht aus. Doch auch mancher Rundbrenner läßt in diesem Punkte viel zu wünschen übrig. In nicht wenigen Fällen kann man die Farbe der Flamme durch geringe Veränderungen in der Stellung des Zylinders wesentlich verbessern. Bei Rundbrennern kommt es hierbei vorwiegend auf die Lage der Einschnürung des Zylinders an.

Jeder aufmerksame Beobachter bemerkt, daß eine Lampe, welche ursprünglich weißes Licht lieferte, nach einiger Zeit gelblich brennt. Das hat seinen Grund in der Beschaffenheit des Dochtes: Ist letzterer durch Ablagerung von Kalk und anderen erdigen Bestandteilen hart geworden, so saugt er das Petroleum nur unvollkommen auf und muß durch neuen Docht ersetzt werden.

Daß die Helligkeit der Flamme auch durch die Beschaffenheit des Zylinders beeinflußt wird, darf als selbstverständlich gelten. Reichlich mit Luftblasen durchsetzte Zylinder sind zu verwerfen. Besonders wichtig ist sauberes Putzen des Glases.

Auch das beste Petroleumlicht ist, wie alle Lichtquellen dieser Gruppe, verhältnismäßig arm an kurzwelligen Strahlen. Der Reichtum an blauen und violetten Strahlen ließe sich durch Vorwärmen der zur Verbrennung gelangenden Luft — wie dies bei Leuchtgas häufig geschieht — wesentlich erhöhen. Neukonstruktionen dieser Art würden den Dank aller Mikrophotographen in weit höherem Grade erwerben, als die allerwärts auftauchenden neuen mikrophotographischen Apparate.

Der zur Erhöhung der Leuchtkraft früher vielfach empfohlene Kamphorzusatz zum Petroleum hat nach den Untersuchungen des Verfassers[1] keinen Wert.

Bei dem früher allgemein üblichen nassen Verfahren stand der Verwendung des Petroleumlichtes die Unempfindlichkeit der Platten und das Trocknen derselben bei langen Belichtungen hinderlich im Wege. Seit Einführung der hochempfindlichen Trockenplatten sind derartige Schwierigkeiten überwunden.

In der Billigkeit und Leichtigkeit seiner Anwendung ist das Petroleumlicht bisher von keiner anderen künstlichen Lichtquelle übertroffen; die mangelnde Intensität läßt sich durch längere Belichtungszeiten ausgleichen. Verfasser bediente sich bei mikrophotographischen Arbeiten jahrelang beinahe ausschließlich des Petroleumlichtes, auch wenn es auf tausendfache Linearvergrößerung ankam. Nur wenn es sich um Auflösung feinster Zeichnungen auf den Kieselschalen der Diatomeen handelte, wurde wegen des größeren Reichtums an kurzwelligen Strahlen zum Sonnenlichte gegriffen. Doch gelingt auch die Auflösung der Querstreifung von Amphipleura pellucida mit Petroleumlicht in vollkommener Weise.

Die übrigen zu Erleuchtungszwecken verwendeten flüssigen Kohlenstoffe, wie Brennöl und dergl., bieten dem Petroleum gegenüber keine Vorteile.

Unter den gasförmigen Kohlenstoffverbindungen spielt das Leuchtgas die Hauptrolle. Bemerkenswerte Unterschiede bestehen nicht zwischen der gewöhnlichen Gasflamme und dem Petroleumlichte. Die Helligkeit der ersteren ist sehr verschieden, je nach der Konstruktion des verwendeten Brenners. Verhältnismäßig unvorteilhaft sind die Argandbrenner[1]. Die Brenner mit Vorwärmung der Luft liefern außerordentlich kräftiges, weißes Licht. Wegen hochgradiger Wärmestrahlung muß die Flamme in erheblicher Entfernung vom Mikroskop aufgestellt werden.

Das Azetylenlicht ist für mikrophotographische Zwecke recht empfehlenswert. Nach Untersuchungen, die SCHULTZ-HENCKE und Verfasser[2] vornahmen, ist es in bezug auf Helligkeit etwa gleichwertig dem später zu besprechenden AUERschen Gasglühlichte, gestattet also ungefähr 4mal kürzere Exposition, als bestes Petroleumlicht. Benutzt

---

1) EDERS Jahrbuch für Photographie für 1893 S. 127.

2) Photographische Rundschau 1897 S. 101. Vergl. auch H. VAN HEURCKS Mitteilungen über Azetylen im Bulletin de la Société belge de Microscopie 1895—1896, XXI, No. 1—4, S. 68, und die Angaben im Bulletin de la Société belge de Microscopie 1895—1896, XXII, S. 51.

man eine Azetylen-Fahrradlaterne, so ist letztere in eine Schale mit Wasser zu setzen, um den Entwicklungsbehälter für das Gas abzukühlen. Auch ist der Hohlspiegelreflektor herauszunehmen.

Unter den Lichtarten, die erzeugt werden durch Weißglut verschiedener Erden und Metalle, ist in erster Linie das Drummondsche Kalklicht zu nennen, das Licht, welches ein im Leuchtgas-Sauerstoffgebläse aufgestellter Kalkzylinder gibt. Dasselbe wurde neben dem elektrischen Lichte schon von Donné und Foucault vor etwa 60 Jahren zu mikrophotographischen Arbeiten verwendet. Damit die Helligkeit gleichmäßig bleibt, muß der Kalkzylinder langsam gedreht werden; sobald nämlich die sehr heiße Flamme einige Zeit auf dieselbe Stelle gewirkt hat, läßt infolge von Zusammensintern des Kalkes die Helligkeit nach.

Während man früher zur Beschaffung von Kalklicht den notwendigen Sauerstoff selbst herstellen mußte, wird letzterer jetzt in komprimiertem Zustande z. B. von Th. Elkan (Berlin N, Tegeler Straße 15) geliefert. Hierdurch ist das Arbeiten mit diesem vortrefflichen Licht dergestalt erleichtert, daß wir den Mikrophotographen nicht dringend genug raten können, in allen Fällen, wo sehr kräftiges Licht nötig ist, mit Kalklicht zu photographieren. Die gefüllten Stahlbomben enthalten unter einem Druck von 150 Atmosphären 500 oder 1000 l Sauerstoff. Durch ein Reduzierventil wird der Druck des ausströmenden Gases auf eine halbe Atmosphäre ermäßigt. Auch die notwendigen Brenner und Kalkscheiben werden in tadelloser Güte von Elkan geliefert. Vortreffliche Brenner und Reduzierventile fertigt ferner das Drägerwerk in Lübeck.

Der Gehalt des Lichtes an gelbgrünen Strahlen, mit denen der Mikrophotograph vorwiegend arbeitet, ist groß. Kalklicht erfordert (unter sonst ganz gleichen Verhältnissen) für die Exposition kaum so viele Sekunden, wie Petroleumlicht Minuten. Wir konnten unter Benutzung von Erythrosinplatte und Pikrinfilter eine Bakterienaufnahme in 1000facher Vergrößerung in 2—3 Sekunden herstellen. Zum Beobachten des Präparates im Mikroskop muß man unbedingt eine dunkelblaue Scheibe einschalten, weil sonst das Auge zu stark geblendet wird.

Benutzung von Wasserstoffgas statt des Leuchtgases bringt keine nennenswerten Vorteile. Nur wo Leuchtgas fehlt, wird man zum Wasserstoffgase greifen, welches ebenfalls im komprimierten Zustande von Elkan geliefert wird. Als Ersatz für Leuchtgas lassen sich auch Ätherdämpfe verwenden, welche in besonderen Äthersaturatoren[1],

[1]) Äthersaturatoren mit zugehörigem Kalkbrenner liefert z. B. die Firma Unger & Hoffmann, Dresden-A., Reißiger Straße.

durch welche der Sauerstoffstrom hindurchstreicht, erzeugt werden. Das Äther-Sauerstoff-Kalklicht ist ungefähr ebenso hell, wie Leuchtgas-Sauerstoff-Kalklicht. Wegen der Feuergefährlichkeit des Äthers ist aber große Vorsicht nötig. Alkohol-Sauerstoff-Kalklicht ist minderwertig.

Die Bestrebungen, den schlecht haltbaren Kalkzylinder durch andere Körper zu ersetzen, reichen in frühe Zeit zurück. Carlevais[1] brachte Stückchen von Chlormagnesium und kohlensaurer Magnesia in die Wasserstoff-Sauerstoffflamme. Roux[2] in Paris verwendete gepreßte Magnesia. Im letzten Jahrzehnt spielte Zirkonerde (in Täfelchen oder Stiften) eine große Rolle. Zirkonerde wird in besonders konstruierten Brennern, die den Namen ihres Erfinders: Prof. Linnemann, tragen, verwendet. Bei diesen Brennern ist die Zuführung der beiden Gase gut regulierbar und die Hitzeentwicklung ungewöhnlich stark.

Zirkonlicht fand weite Verbreitung, obgleich dasselben nur Eigenschaften besitzt, welche von seiner Verwendung abschrecken sollten: Die Linnemannschen Brenner sind sehr teuer, das unvermeidliche Zischen des Lichtes wird auf die Dauer unerträglich und die Helligkeit ist mit derjenigen des Kalklichtes nicht entfernt vergleichbar. Nach den Messungen, welche Schultz-Hencke und Verfasser[3] vornahmen, stellen sich, unter Benutzung von Leuchtgas und Sauerstoff, die Helligkeitsverhältnisse folgendermaßen: Kalklicht bei nicht zischender Flamme 500, bei stark zischender Flamme 1350 Normalkerzen, Zirkonlicht (großer Linnemannscher Brenner von Schmidt & Haensch) bei zischender Flamme 95 Normalkerzen. Zum Vergleiche sei angeführt, daß bestes Auersches Glühlicht 84 Normalkerzen und Azetylenlicht (Gaserzeugungsapparat und Brenner von Unger & Hoffmann) 90 Normalkerzen ergab. Möge also Zirkonlicht endlich aus den Laboratorien verschwinden und dafür wieder das alte, wohlerprobte Kalklicht eintreten, welches durch den elenden Nebenbuhler ein Jahrzehnt lang beinahe völlig verdrängt war.

Wem es auf besondere Sparsamkeit beim Sauerstoffverbrauch ankommt, kann auch den Kalkzylinder in Verbindung mit dem Linnemannschen Brenner benutzen. Letzterer beansprucht ungefähr nur den dritten Teil Sauerstoff, wie ein gewöhnlicher Kalkbrenner. Infolge der ungeheuren Hitze brennen aber in kurzer Zeit tiefe Löcher in den Kalk ein und man muß den Zylinder beinahe beständig drehen.

---

[1]) Comptes rendus Bd. LX, 1865, Juni, S. 1253.
[2]) British Journal of Photographie 1887, 18. November.
[3]) Photographische Rundschau 1897 S. 101.

Gepreßte Stäbchen aus gebrannter Magnesia geben in Verbindung mit dem LINNEMANNschen Brenner etwas besseres Licht als Zirkon.

Zu der soeben besprochenen Gruppe von Lichtarten gehört auch das AUERsche Glühlicht, welches in kürzester Zeit einen Siegeslauf rund um die Erde ausführte. Dasselbe ist für Mikrophotographie sehr geeignet und gestattet nach den Untersuchungen des Verfassers [1] 4 mal kürzere Belichtungszeit, als bestes Petroleumlicht. Eine ausführliche Studie über das AUER-Licht in der Mikrophotographie veröffentlichte Dr. W. GEBHARDT [2]. Um die Maschen des AUER-Strumpfes zum Verschwinden zu bringen, empfiehlt GEBHARDT die Benutzung eines fein mattierten Zylinders, der viel weniger Licht verschluckt, als eine Mattscheibe. Ersetzt man beim AUER-Licht das Leuchtgas durch Dämpfe von Spiritus, Petroleum, Benzin, Äther oder dergleichen, so erhält man ungefähr die gleiche Helligkeit.

Man stellte in der Mikrophotographie auch mit allen möglichen andern Lichtquellen Versuche an, ohne hierbei zu bemerkenswerten Resultaten zu gelangen. Wir lassen es also bei obiger Aufzählung bewenden. Eine ideale künstliche Lichtquelle fehlt uns noch, d. h. eine solche, welche bei geringfügigsten Kosten etwa dem Kalklichte ähnliche Helligkeit besitzt. Vielleicht gelingt es, einen Körper aufzufinden, welcher schon durch Leuchtgas und durch ein Gummigebläse zuzuführende atmosphärische Luft (ohne den teueren, reinen Sauerstoff) in dieselbe Weißglut zu bringen ist, wie Kalk im Leuchtgas-Sauerstoffgebläse. Hier eröffnet sich ein aussichtsvolles Arbeitsfeld für denjenigen, welcher sich in der Mikrophotographie einen Namen machen will.

Die Frage, welcher Lichtquelle wir uns bei dem gegenwärtigen Stande der Dinge bedienen sollen, ist nicht ohne weiteres zu beantworten, denn man muß den jeweiligen Verhältnissen Rechnung tragen. Der Mikrophotograph, welcher mit beschränkten Mitteln arbeitet, ist gezwungen, sich mit der Petroleum- oder AUER-Lampe zu begnügen, und die wenigen Dinge, welche zu ihrer Abbildung durchaus anderes Licht erfordern, für sonnige Tage aufzusparen. Es geht hier so, wie in vielen andern Dingen: Der Geschickte leistet mit beschränktesten Hilfsmitteln weit besseres als ein anderer, der bei allen Neuanschaffungen niemals Zeit findet, sich auf das Alte, Brauchbare einzuarbeiten. Wo die Kosten keine Rolle spielen, raten wir unbedingt zu Kalklicht.

[1]) EDERS Jahrbuch für Photographie für 1893 S. 127.
[2]) Photographische Rundschau 1899, Heft 2, S. 43.

Vierter Abschnitt

Die Beleuchtung

Richtige Beleuchtung des aufzunehmenden Objektes ist in der Mikrophotographie von weittragender Bedeutung. Die teuersten Apparate, die besten Gläser und das wirksamste Licht sind völlig wertlos, wenn man es nicht versteht, dem Objekte die Strahlen in richtiger Weise zuzuführen. In keinem anderen Punkte herrschte aber von jeher bis in die neueste Zeit hinein so grenzenlose Verwirrung, wie in diesem. In Unkenntnis der optischen Gesetze legten sich die Autoren eine Theorie zurecht, welche sich mit ihren Beobachtungen am Mikroskop leidlich in Einklang bringen ließ. Die einmal begangenen Irrtümer erbten sich von Geschlecht zu Geschlecht, von Lehrbuch zu Lehrbuch fort; mit staunenswerter Gewissenhaftigkeit schrieben neue Schriftsteller das alte Falsche ab, auch nachdem sich längst ganz neue Ansichten über die Beleuchtung und die Theorie der Bilderzeugung Bahn gebrochen hatten[1].

---

1. Beleuchtung mit durchfallendem Licht

a. Allgemeines über den Strahlengang bei Anwendung von Planspiegel, Hohlspiegel und Sammellinse. Wirkung der Blenden

Alle von irgendeiner Lichtquelle L_1-L_2 (Fig. 29) ausgehenden Strahlen fallen in konvergierenden Büscheln auf jeden Punkt des

[1]) Vergl. die Abschnitte über Beleuchtung in: Dippel, Grundzüge der allgemeinen Mikroskopie, und Dippel, Handbuch der allgemeinen Mikroskopie.

Objektes ($O_1 O O_2$), gleichgültig ob, wie in der Regel bei mikrophotographischen Arbeiten mit wagerechtem Mikroskop, die Unterseite des Objektes direkt der Lichtqnelle zugekehrt ist, oder ob man einen Plan- oder Konkavspiegel zur Beleuchtung verwendet. Die Winkelöffnung α dieser kegelförmigen Büschel (Beleuchtungskegel) ist abhängig von der Entfernung und Größe der Lichtquelle und von der Gestalt und Stellung der Spiegel.

In dem Falle, wo die Unterseite des Objektes dem mit hellen Wolken bedeckten Himmel zugekehrt ist, beträgt der Öffnungswinkel des Beleuchtungskegels, wofern nicht die Umrahmung des Fensters oder gegenüberliegende Gebäude den Gesichtskreis einengen, annähernd 180^0; richtet man dagegen das Mikroskop direkt auf die Sonne, so ist dieser Winkel nur $^1/_2{}^0$, da die Sonne am Himmelsgewölbe eine scheinbare Breite von $^1/_2{}^0$ hat.

29

Bei Verwendung von Spiegeln gestalten sich die Verhältnisse folgendermaßen:

$L_1 L_2 L_3$ (Fig. 30) sei die Lichtqnelle, $PP_1 MP_2 P_3$ ein Planspiegel, cMc_1 ein Konkavspiegel und O das aufzunehmende Objekt. Während der Achsenstrahl $L_2 M$ von beiden Spiegeln in gleicher Richtung reflektiert wird, ergeben sich bei den übrigen Strahlen wesentliche Verschiedenheiten. Die von den Rändern der Lichtquelle ausgehenden Strahlen können, vom Planspiegel reflektiert, das Objekt O überhaupt nur dann treffen, wenn sie auf Punkte des Spiegels fallen, welche von M nicht weiter als P_1 oder P_2 entfernt sind. Der Strahl $L_3 y$ würde beispielsweise nach Z reflektiert werden, $L_1 x$ dagegen nach a. Die Lichtquelle $L_1 L_3$ liefert also bei Reflexion durch den Planspiegel einen Beleuchtungskegel mit dem Öffnungswinkel $P_1 O P_2$.

Wird der Konkavspiegel zur Reflexion verwendet, so gelangen noch Strahlen zum Objekte O, welche den Spiegel in den Punkten c und c_1 treffen. Der hierbei gelieferte Strahlenkegel hat also den Öffnungswinkel $c O c_1$

Bei gleicher Größe und gleichem Abstande der Lichtquelle gibt daher der Hohlspiegel einen breiteren Beleuchtungskegel; er tritt mit

30

31

größerer Flächenausdehnung für die Beleuchtung in Wirksamkeit als der Planspiegel; mit anderen Worten: er vermag mehr Licht auf das Objekt zu senden als letzterer. Damit der vom Planspiegel gelieferte Beleuchtungskegel denselben Öffnungswinkel hat, wie der von dem Hohlspiegel gelieferte, müßte die Lichtquelle die Größe LL_4 haben. Man kann deshalb auch sagen: der Vorteil des Hohlspiegels beruht darauf, daß er im Vergleich zum Planspiegel so wirkt, als ob eine ausgedehntere Lichtquelle zur Verfügung steht.

In welcher Weise wirken nun unter dem Objekte angebrachte Blenden? $L_1 L_6$ (Fig. 31) sei die Lichtquelle, welche, wenn Blenden nicht vorhanden sind, einen Lichtkegel mit dem Öffnungswinkel $L_1 O L_6$ erzeugt. Bringt man zwischen Objekt und Lichtquelle eine Blende *ab* an, so können die von L_1 und L_6 ausgehenden Strahlen nicht mehr nach O gelangen; vielmehr hat der beleuchtende Lichtkegel jetzt den Öffnungswinkel $L_2 O L_5$. Wird eine Blende *cd* von derselben Öffnung wie diejenige *ab* in noch größerer Entfernung vom Objekte angebracht, so verliert der Lichtkegel abermals an Breite. Blenden von größerer Öffnung, z. B. *ef* müssen, um dieselbe Wirkung in bezug auf Ein-

engung des Lichtkegels hervorzubringen, wie solche von kleiner Öffnung *ab*, der Lichtquelle mehr genähert werden. Aus diesen Betrachtungen erhellt, daß man mit den auf- und abschiebbaren Zylinderblendungen am besten die Breite des beleuchtenden Lichtkegels zu regulieren vermag.

Da die Strahlen, wofern sie nicht durch brechende Medien abgelenkt werden, sich stets geradlinig fortpflanzen, so müssen dieselben bei Beleuchtung mit durchfallendem Licht vom Objekt aus in Gestalt divergierender Büschel zum Objektivsystem weitergesendet werden (Fig. 32). Der Öffnungswinkel dieser divergierenden Büschel ist der Scheitelwinkel des Öffnungswinkels der von der Lichtquelle zum Objekt konvergierenden Büschel; beide Winkel sind demnach gleich[1]. Mag daher die num. Apertur des jeweilig benutzten Objektives noch so groß sein; es kann doch nur diejenige Apertur in Wirksamkeit treten, welche dem Öffnungswinkel des das Objekt beleuchtenden Strahlenkegels entspricht. Ein Beispiel möge dies erläutern: *S* (Fig. 32) stelle ein Trockensystem mit der num. Apertur 0,50 (Öffnungswinkel 60°) dar. Der Öffnungswinkel des das Objekt *O* beleuchtenden Lichtkegels betrage 35°. Dann gelangen auch nur Strahlenkegel mit einer Divergenz von 35° in das Objektiv, und da bei einem Trockensystem dem Öffnungswinkel von 35° die num. Apertur 0,30 entspricht, so verhält sich das benutzte Objektiv in diesem Falle wie ein solches von 0,30 num. Apertur.

32

Bei der in beinahe allen Schriften über Mikrophotographie eine Hauptrolle spielenden Beleuchtung mit parallelen Strahlen wäre die in Wirksamkeit tretende Apertur des Objektives gleich Null; es findet demnach eine Abbildung überhaupt nicht statt; denn eine solche hat als unerläßliche Vorbedingung, daß jeder Punkt des Objektes von Strahlen verschiedener Neigung durchsetzt wird. In allen Fällen, wo dis Autoren mit angeblich parallelen Strahlen eine Abbildung zuwege

[1]) In Wirklichkeit sind diese beiden Winkel nur dann völlig gleich, wenn, wie dies bei gefärbten Objekten der Fall ist, die Bilderzeugung auf Absorptionswirkung gewisser Strahlen beruht. Bei stark lichtbrechenden Objekten werden die Verhältnisse verwickelter; doch gehört das genaue Eingehen auf diese Dinge nicht an diesen Ort. Durch die planparallelen Begrenzungsflächen der Präparate (Unterseite des Objektträgers und Oberseite des Deckgläschens) werden Unterschiede in der Breite des einfallenden und austretenden Lichtkegels nicht herbeigeführt.

brachten, waren neben den parallelen auch in gewissem Winkel einfallende Strahlen vorhanden.

Es ist einleuchtend, daß man selbst mit dem Hohlspiegel sehr breite Beleuchtungskegel, welche die unbeschränkte Ausnutzung von Systemen mit hoher num. Apertur gestatten, nicht erzielen kann. Hier tritt die Beleuchtung mit Konvexlinsen (sogen. Kondensoren) in ihre Rechte.

Der von denselben erzeugte Strahlenkegel (Fig. 33) ist verschieden groß, je nachdem die Lichtquelle sich, wie die Sonne, in weiter Ferne oder, wie die künstliche Flamme, in verhältnismäßiger Nähe befindet. Die aus unendlich großer Entfernung kommenden Strahlen vereinigen sich im Brennpunkte *B*, die von einer näher gelegenen Lichtquelle herrührenden (punktiert gezeichneten) dagegen in *A*. Dieselbe Linse liefert also Beleuchtungskegel von verschiedener

33

Öffnung. Der Öffnungswinkel *CBD* ist am größten, wenn die Strahlen aus der Unendlichkeit kommen; er wird um so kleiner, je mehr sich die Lichtquelle dem Brennpunkte der Linse nähert. Neben der Lage der Lichtquelle ist die Gestalt der Sammellinse von Einfluß auf die Breite des beleuchtenden Lichtkegels.

Der Name ‚Kondensor‘ (Verdichter der Strahlen) ist für die Beleuchtungslinsen nicht passend gewählt, da eine Verdichtung des Lichtes nicht stattfindet. Die bei Anwendung der Sammellinsen erzielte größere Helligkeit des Bildes ist lediglich Folge der V e r g r ö ß e r u n g des wirksamen Querschnittes des Beleuchtungskegels. Die Helligkeit dieses Querschnittes im Vergleiche zur Helligkeit der ursprünglichen Lichtquelle wird durch keinen Beleuchtungsapparat (weder durch Hohlspiegel noch durch Sammellinse) vermehrt. Im günstigsten Falle kann die Helligkeit höchstens gleich derjenigen der Lichtquelle selbst werden.

Wir stehen hier bei einem Punkte, über welchen nicht nur in den alten Lehrbüchern die denkbar größte Verwirrung herrscht. Jeder Autor gibt genaue Vorschriften, wie man das Licht ‚kondensieren' soll. BREWSTER[1] will sogar das Natriumlicht einer Kochsalz-Weingeistflamme durch Linsen derartig verdichten, daß sich alle mikroskopischen Beobachtungen damit ausführen lassen. Das konnte ihm natürlich noch niemand nachmachen.

Halten wir an dem Satze fest, daß alle Spiegel und Beleuchtungslinsen nur in dem Sinne wirken, daß sie die Grundfläche des Beleuchtungskegels erweitern; mit andern Worten: daß sie die Lichtquelle ohne Verminderung ihrer Leuchtkraft auf größere Ausdehnung bringen.

Bei Anwendung eines Hohlspiegels oder einer Sammellinse gelangen dann am meisten Strahlen auf das Objekt, wenn letzteres sich

34 35

dort befindet, wo sich die Strahlen schneiden, d. h. wenn Objekt und Bild der Lichtquelle zusammenfallen. Die Randstrahlen AO und BO (Fig. 34) können nur dann das Objekt treffen und zur Bilderzeugung beitragen, wenn das Objekt im Bilde der Lichtquelle liegt. Befindet sich das Objekt in O_1, so wird dasselbe von schmaleren Strahlenkegeln erleuchtet; es kann demgemäß auch nur ein kleinerer Teil der Öffnung des Objektives zur Wirksamkeit gelangen. Man ist also imstande, durch Veränderung des Abstandes der Sammellinse, oder des Hohlspiegels vom Objekt die Breite des beleuchtenden Lichtkegels zu regulieren.

Die Wirkung der zwischen Lichtquelle und Sammellinse eingeschalteten Blenden gestaltet sich ganz entsprechend den auf S. 108

[1]) BREWSTER, Treatise on the Microscope 1837.

(Fig. 31) dargestellten Verhältnissen. Man kann durch Abblenden der Randstrahlen die Breite des beleuchtenden Lichtkegels beliebig vermindern. Ebenso läßt sich durch Verschieben der Blenden nach einer Seite schiefe Beleuchtung erzielen (Fig. 35, I), wie man sie in gleicher Weise durch Seitwärtsbewegung des Spiegels ohne Kondensor erhält[1]. Endlich ist man nach der schon von HARTING (Das Mikroskop Bd. III S. 310) empfohlenen Methode durch Einschaltung kleiner, runder, undurchsichtiger Scheibchen in der Achse des Beleuchtungsapparates imstande, die Mittelpartien des Beleuchtungskegels abzuschneiden und nur die Randstrahlen zur Wirkung kommen zu lassen (Fig. 35, II)[2].

O

G

36

Hiermit wäre das Prinzip der Beleuchtungsvorrichtungen erörtert. Über die Beleuchtung mit Hilfe sogenannter Mikroskopierlampen können wir uns kurz fassen: die Lampen sind wertlos. Wegen der Mangelhaftigkeit der bei ihnen verwendeten Hohlspiegel und Sammellinsen liefern sie überhaupt nicht die von ihren Erfindern beabsichtigten, parallelen Strahlen; und wenn sie dieselben lieferten, so wäre damit, wie wir sahen, dem Mikroskopiker ohne Zuhilfenahme eines Kondensors wenig genützt. Eine

[1]) Die von HARTING (Das Mikroskop Bd. III S. 320) vorgeschlagene Schrägstellung des ganzen Beleuchtungsapparates (Sammellinse mit Spiegel) ist hierbei völlig überflüssig.

[2]) Letzteres läßt sich auch erreichen durch Schwärzung der Mitte der Beleuchtungslinse; doch ist diese Methode unbequem und veraltet. Ein gleiches gilt von verschiedenen anderen Methoden, über die sich genaue geschichtliche Angaben in dem vortrefflichen Lehrbuche von HARTING (Das Mikroskop. Braunschweig 1866, Vieweg) finden.

kleine unter dem Objekte angebrachte Sammellinse macht ihre Dienste völlig überflüssig.

Die von Kochs-Wolz konstruierte Mikroskopierlampe (Fig. 36) leitet das Licht durch einen 1 cm dicken Glasstab *G*, welcher in eine Seitenöffnung *O* des die Flamme umgehenden Blechzylinders genau hineinpaßt, infolge von totaler Reflexion an den Seitenwänden dieses Glasstabes auf die Unterseite des Objektes. Man erhält auf diese Weise bunt durcheinander schießende Strahlen, die scheinbar von einer Lichtquelle ausgehen, welche an Größe dem Querschnitt des Glasstabes gleichkommt. Für schwache Objektive liefert die Lampe Strahlenkegel von ausreichender Breite. Man darf aber nie vergessen, daß der lange Glasstab viel Licht verschluckt. Die Reflexion an den Wänden ist überdies keine vollkommene, so daß ein Teil der Strahlen vor dem Ende des Stabes austritt und für die Beleuchtung des Objektes verloren geht. Der Mikrophotograph möge daher seine ohnehin stark auf die Probe gestellte Geduld bei Versuchen mit derartigen Vorrichtungen nicht erschöpfen.

Ebenso wertlos für die Beleuchtung, wie der in der Nähe der Flamme angebrachte Hohlspiegel ist die teilweise Versilberung der Glaskugel bei elektrischen Glühlampen. Durch ein solches Verfahren werden Spiegel von durchaus unregelmäßiger Gestalt hergestellt, die einen unberechenbaren Strahlengang erzeugen.

b. Einfluß der Breite des Beleuchtungskegels auf das Bild

Die Breite des einfallenden Lichtkegels übt einen großen Einfluß auf die Beschaffenheit des Bildes aus. Je enger der beleuchtende Strahlenkegel genommen wird, je kleiner also die wirksame Apertur[1] des Beleuchtungsapparates ist, um so schärfer erscheint das Bild in seinen Umrissen; denn bei Anwendung breiterer Kegel werden Strahlen von verschiedenem Grade der Neigung gegen die Achse des Mikroskops gleichzeitig wirksam, welche nicht völlig identische Bilder liefern. Das von einem Beleuchtungskegel mit großer Öffnung erzeugte Bild ist das Resultat der Übereinanderlagerung einer großen Zahl verschiedenartiger Bilder, deren jedes einzelne herrührt von einem der kleineren, der Einfallsrichtung nach ungleichen Beleuchtungskegel.

[1]) Die Apertur des Beleuchtungsapparates leitet sich aus dem Öffnungswinkel in derselben Weise ab, wie wir dies für die Objektive auf Seite 45 (Abschnitt II) entwickelt haben.

Beleuchtet man daher ein Objekt mit sehr breiten Strahlenkegeln, so erscheint das Gesichtsfeld nebelig unklar; unter Umständen verschwindet das Bild sogar vollkommen. Für diese Regel gibt es eine Ausnahme, diejenige nämlich, wo es sich um gefärbte Objekte handelt, deren Elemente sich nicht durch Differenzierung im Brechungsvermögen, sondern durch ungleiche Absorption des Lichtes gegeneinander abgrenzen. In diesem Falle tritt, wofern nur das Objektiv für seine volle Apertur sorgfältig korrigiert ist, auch bei sehr breiten Beleuchtungskegeln kein Verwischen des Bildes ein. Das gleichzeitige Verschwinden der nicht absorbierenden Teile des Objektes (Schmutzteilchen und dergl.) ist dann kein Nachteil, sondern ein Gewinn. Am auffälligsten tritt dies in Erscheinung bei Bakterienaufnahmen, wo die gefärbten Bakterien, besonders aber die ihnen anhängenden Geißeln, am besten abgebildet werden unter Anwendung von Objektiven und Beleuchtungsapparaten mit sehr hoher num. Apertur. Je größer nämlich die nutzbare Apertur des Objektives, um so schmaler erscheint der Durchmesser der zartesten Gebilde im Photogramm. Der scheinbare Durchmesser aller kleinsten isolierten Objekte ist für jede bestimmte num. Apertur einem kleinsten Werte unterworfen, welcher durch die Gleichung $\frac{\lambda}{2a}$ annähernd gegeben wird, wobei λ die Wellenlänge des verwendeten Lichtes und a die num. Apertur des Objektives bezeichnet. Hieraus ergibt sich beispielsweise, daß bei sonst gleichen Verhältnissen der Durchmesser der Geißelfäden im Bilde doppelt so breit erscheint, wenn die Aufnahme mit einer wirksamen Apertur von 0,7 geschieht, als wenn eine Apertur von 1,4 benutzt wird.

Bei Beleuchtung mit engen Einfallskegeln wird die Tiefenzeichnung der Objektive und die Ebenheit des Gesichtsfeldes wesentlich gehoben. Auch bei den besten Mikroskopobjektiven ist die Bildfläche stets merklich gewölbt, das Bild also in der Achse und außerhalb derselben nicht gleichzeitig scharf. Je größer der Öffnungswinkel des beleuchtenden Strahlenkegels ist, um so schneller nimmt in dem auf eine ebene Fläche projizierten Bilde die Schärfe von der Mitte nach dem Rande hin ab. Bei der Okularbeobachtung fällt dies weniger auf, weil die Akkommodation des Auges und die Bewegung der Mikrometerschraube einen Ausgleich zwischen den mittleren und seitlicheren Teilen des Gesichtsfeldes herbeiführt.

Bei zu engen Beleuchtungsbüscheln treten jedoch — vielleicht der häufigste Fehler auf Mikrophotogrammen — helle Diffraktionssäume auf, welche alle Linien im Bilde umgeben und die Deutlichkeit der Zeichnung sehr beeinträchtigen. Dieselben sind nach Abbe

FRESNELsche Beugungserscheinuugen der Strahlen an der Schattengrenze der Objekte, und kommen um so stärker hervor, je kräftiger das Licht ist.

Gegen die Verwendnng zu enger Beleuchtungskegel spricht ferner die hiermit Hand in Hand gehende, geringe Helligkeit des Bildes, welche lange Belichtung der Platten erfordern würde. Endlich können gewisse Dinge, wie die Zeichnung auf den Kieselschalen der Diatomeen, nur durch Beleuchtungskegel abgebildet werden, deren Öffuung nicht unter eine bestimmte Grenze sinkt.

Hieraus geht hervor, daß für jeden einzelnen Fall genau erwogen werden muß, welche Öffnung des Beleuchtungskegels das vollkommenste Bild liefert. Bei Aufnahmen von gefärbten Bakterienpräparaten wird man mit möglichst großer Apertur arbeiten[1]; im übrigen erweist sich sowohl für die Okularbeobachtung, wie ganz besonders für die Photographie ein Beleuchtungskegel als vorteilhaft, der in der Apertur ungefähr ein Drittel von der Apertnr des jeweilig benutzten Objektives ausmacht, der also auch ein Drittel von der freieu Öffnung des Objektives mit Licht erfüllt.

Sieht man nach Herausnahme des Okulares in den Tubus hinein (wobei eine auf den Tubus gelegte enge Blende zur Fixiernng des Auges dienen kann), so läßt sich ohne weiteres leicht beobachten, welcher Teil der freien Objektivöffnung mit Licht erfüllt ist. Nach obiger Regel dürfte also nur das mittlere Drittel dieser freien Öffnung hell erscheinen, während eine breite Randzone dunkel bleibt. Dies Verhältnis läßt sich auch ohne Herausnahme des Okulares dadurch kontrollieren, daß man eine Lupe auf den kleinen hellen Kreis im Augenpunkte des Okulares einstellt.

c. Entwicklung der Beleuchtungsapparate

Mit der Entwicklung der Objektive mußte diejenige der Beleuchtungsapparate Haud in Hand gehen. Um die hohe num. Apertur der Ölimmersionen auszunutzen, bedurfte es Kondensoren von hoher Apertur. Der Planspiegel liefert, wie wir saheu, die schmalsten Beleuchtungskegel, welche nur für gauz schwache Objektive ausreichen. Mit den Hohlspiegeln kommt man schon erheblich weiter. Bei un-

[1]) Verwendet man vorzüglich korrigierte Apochromate, so kann man nach FRAENKEL u. PFEIFFER (Atlas der Bakterienkunde S. 24) auch bei Aufnahme ungefärbter Bakterienpräparate mit breiten Lichtkegeln beleuchten.

gefärbten und vielen gefärbten Objekten kann man denselben für mittelstarke Objektive ohne Schaden verwenden. Daß hierbei natürlich auch die Ausdehnung der Lichtquelle von wesentlichem Einfluß ist, brauchen wir nach obigen Erörterungen nicht noch einmal ausdrücklich zu betonen. Bei Immersionen kommt man ohne die Konvexlinse nicht aus. Jedoch auch schon vor Einführung dieser Systeme bürgerte sich der Kondensor ein. Freilich kannte man damals noch nicht den Zusammenhang zwischen beleuchtendem und abbildendem Strahlenkegel; vielmehr gab lediglich der Umstand, daß ein mit Hilfe eines Brennglases (d. h. einer Sammellinse) beleuchteter Körper heller erscheint, als ein von den Strahlen der Lichtquelle direkt getroffener, Veranlassung zur Anwendung der Kondensoren.

Schon die Mikroskope von Bonannus[1] hatten einen aus zwei Konvexlinsen bestehenden Beleuchtungsapparat. Hartsoecker[2] traf die Einrichtung derart, daß die Beleuchtungslinse mit Hilfe einer Schraube dem Objekte nach Belieben genähert werden konnte.

Um die sphärische und chromatische Abweichung zu vermindern, verwendete Wollaston[3] eine plankonvexe Beleuchtungslinse, deren plane Fläche dem Objekte zugekehrt ist. In derselben Absicht ersetzte Brewster[4] die plankonvexe Linse durch eine Verbindung von 4 achromatischen Linsen, deren 2 bikonvex und 2 konkav-konvex waren. Der im Jahre 1838[5] von Dujardin beschriebene Beleuchtungsapparat stützt sich der Hauptsache nach auf das Brewstersche Prinzip. Er enthält 2 oder 3 achromatische, plankonvexe Doppellinsen, deren ebene Flächen nach aufwärts sehen. Die Entfernung derselben vom Objekttische läßt sich verändern, damit der Brennpunkt genau in das Objekt zu verlegen ist. Ein derartiger Kondensor liefert bereits Beleuchtungskegel von beträchtlicher Breite. Amici und die englischen Mikroskopverfertiger folgten dem Beispiele Dujardins und verbesserten den Beleuchtungsapparat durch einige nicht unwesentliche Neuerungen. Der Engländer Ross bewirkte die Auf- und Abwärtsbewegung des Kondensors durch Zahn und Trieb; ferner brachte er mehrere Schrauben an, welche dazu dienen, die Achse des Beleuchtungsapparates mit der Achse des Mikroskops zusammenfallend zu machen, eine Sache, die für die Erzeugung eines tadellosen Bildes von Bedeutung ist.

[1]) Bonannus, Ph., Micrographia curiosa. 1691.
[2]) Hartsoecker, Essay de Dioptrique. Paris 1694.
[3]) Wollaston, Philosophical Transactions 1829.
[4]) Brewster, Treatise on the Microscope 1837.
[5]) L'Institut no. 247 S. 307.

Die Engländer führten die Beleuchtung des Objektes mit gewöhnlichen Mikroskopobjektiven ein, was man in Deutschland vielfach Geheimrat R. Koch zuschreibt. Sie stellten als Regel auf, daß dasjenige Objektiv in den Beleuchtungsapparat kommt, welches dem zur Beobachtung verwendeten in der Stärke (Größe des Öffnungswinkels) vorangeht. Überdies wurde von ihnen den guten Mikroskopen zur Beleuchtung ein System von drei achromatischen Doppellinsen beigegeben. Für die stärksten Objektive hatte man das gesamte System zu nehmen, zu den Objektiven von mittlerer Stärke nur zwei der Doppellinsen und bei den schwächeren Vergrößerungen eine einzige. Powell und Lealand lieferten schon 1859 einen achromatischen Kondensor mit 170° Öffnung, der also auf Luft bezogen eine num. Apertur von beinahe 1 besaß.

Ein wesentlicher Bestandteil dieser Beleuchtungsapparate ist die Blende, deren Bedeutung für die Beschaffenheit des Bildes man in

I II

37

früher Zeit erkannt hatte. Die mit Blendenöffnungen von verschiedener Größe versehene, drehbare Scheibe oder verschiebbare Platte gestattet eine gute Abstufung in der Breite der Beleuchtungskegel.

Es würde zu weit führen, alle Kondensoren zu beschreiben, welche in neuerer Zeit konstruiert wurden, um mit den gewaltigen Verbesserungen der Objektive gleichen Schritt zu halten. Zeiss, welcher in Verbindung mit Abbe durch die Einführung homogener Immersionen von sehr hoher Apertur sich die größten Verdienste um unsere Wissenschaft erworben hat, stellte in dem Abbeschen Beleuchtungsapparat (Fig. 37) ein Instrument her, welches einerseits die volle Ausnutzung auch der Apertur von 1,40 ermöglicht, anderseits in bequemster Weise Einengung des Beleuchtungskegels auf jede beliebige Größe und Verwendung von schiefem Licht gestattet. Überdies unterscheidet sich derselbe durch seine handliche Form in vorteilhaftester Weise von den Kanonenrohr ähnlichen Kondensoren der englischen Optiker.

Der zweiteilige Abbesche Kondensor (Fig. 37, I) hat eine Apertur von 1,20, der dreiteilige (Fig. 37, II) eine solche von 1,40. Selbstverständlich kommen die Aperturen, welche gleich 1 oder größer als 1 sind, nur dann zur Geltung, wenn man die Frontlinse des Kondensors und die Unterseite des Objektträgers durch einen Wasser- oder Öltropfen verbindet. Befindet sich eine wenn auch noch so dünne Luftschicht zwischen Kondensor und Objekt, so wird der Teil des Strahlenbüschels, dessen Apertur gleich 1 oder größer als 1 ist, durch

38

Totalreflexion abgeblendet, und es tritt nur der Teil in Wirksamkeit, welcher kleiner als 1 ist.

Fig. 38 zeigt den ganzen Abbeschen Beleuchtungsapparat, d. h. die Kondensorlinsen in Verbindung mit Blendenträgern und Spiegel. Mit Hilfe der mit Zahnstange versehenen Führung *t* läßt sich der Apparat dem Objekte beliebig nähern oder von ihm entfernen. Die Blenden sind durch Zahn und Trieb *e f* seitwärts verschiebbar, damit man dem Lichtkegel in bequemer Weise verschiedene Einfallsrichtung geben kann.

Für das Objektivsystem mit 1,60 num. Apertur konstruierte Zeiss einen eigenen Kondensor mit gleich hoher Apertur. Letztere wird dadurch erreicht, daß die Frontlinse aus einem Flintglas vom

Brechungsindex 1,72 besteht. Frontlinse und Unterseite des aus demselben Flint gearbeiteten Objektträgers werden durch Monobromnaphtalin verbunden. Jede weitere Steigerung der Objektivapertur zieht eine solche auch für die Apertur des Beleuchtungssystems nach sich.

Speziell für die Bedürfnisse des Mikrophotographen fertigte Zeiss nach den Berechnungen von Abbe und den praktischen Winken von Geheimrat Koch einen Kondensor, der in nicht unwesentlichen Punkten von dem gewöhnlichen Abbeschen Beleuchtungsapparat abweicht[1]. Während letzterer nämlich nicht achromatisch ist, wurde bei dem neuen Kondensor (Fig. 39), welcher eine num. Apertur von 1,0 hat, auf sorgfältige Korrektion der sphärischen und chromatischen Ab-

39

weichung Gewicht gelegt. Hierdurch wird nämlich erreicht, daß auch das durch den Kondensor bei voller Öffnung desselben in die Objektebene verlegte Bild k l e i n e r Lichtquellen, wie beispielsweise der Sonne, scharfe Umrisse hat. Wenn man bei Verwendung von direktem Sonnenlicht den Beleuchtungsapparat so stellt, daß sich die Strahlen in der Objektebene schneiden, so versagt der nicht achromatische Kondensor bei voller Öffnung den Dienst wegen starker Zerstreuung der von einer so kleinen Lichtfläche ausgehenden Strahlen durch die sphärische Abweichung der Linsen; das Sonnenbildchen fällt zum Nachteil für das mikroskopische Bild völlig unscharf aus und die Beleuchtung des Objektes ist nicht gleichmäßig. Bei Anwendung

[1]) Zeiss, Spezialkatalog 1888 S. 12 u. 16.

einer genügend ausgedehnten Lichtquelle, z. B. des Wolkenhimmels, ermöglicht auch der nicht achromatische Kondensor eine gleichmäßige Beleuchtung, weil Strahlen von sehr verschiedenen Punkteu einer solchen Lichtquelle in jedem Punkte des Objektes zusammenwirken können.

Bei Konstruktion des achromatischen Kondensors wurde ferner darauf Bedacht genommen, daß das in die Objektebene projizierte Sonnenbildchen das Gesichtsfeld eines starken Objektivsystemes eben ausfüllt; denn schon bei der gewöhnlichen Okularbeobachtung, noch mehr aber beim Photographieren, zeigt es sich, daß die Deutlichkeit des Bildes dann am größten ist, wenn nur der abzubildende Teil des Präparates von Licht getroffen wird. Begründet ist diese Tatsache darin, daß, wenn auch Licht außerhalb des Gesichtsfeldes auf das Präparat gelangt, teils durch Reflexion am Deckgläschen, teils durch Ablenkung innerhalb des Präparates unregelmäßig durch das Gesichtsfeld schießende Strahlen erzeugt werden, welche auf die Schärfe des Bildes in ähnlicher Weise störend einwirken, wie die Randstrahlen bei Anwendung zu breiter Beleuchtungskegel. Ferner werden Reflexe an den Linsenfassungen und im Tubus dadurch am besten vermieden, daß man nur das aufzunehmende Gesichtsfeld erhellt.

Um genaue Zentrierung des Kondensors zu ermöglichen, bringt Zeiss ein besonderes, zentrierbares Zwischenstück an. An Stelle der scheibenförmigen Blenden ist die Irisblende gesetzt, welche jede beliebige Öffnung des Kondensors gestattet. An einem alten Mikroskop von Dollond[1] befindet sich übrigens schon eine Blende, welche in ganz entsprechender Weise wie die Irisblende verstellbare Öffnung besitzt.

Auf Anregung von Prof. Rollett in Graz konstruierte Zeiss einen zentrierbaren, achromatischen Kondensor mit großem Fokalabstand, welcher bei Anwendung des direkten Kühlers nach Zoth (s. Abschnitt V) zu benutzen ist. Der obere Brennpunkt liegt so weit über der letzten Linsenfläche, daß auch bei Einschaltung des Zothschen Kühlers zwischen Kondensor und Präparat das Bild der Lichtquelle in das Präparat projiziert und eine Weite der Beleuchtuug bis zur Apertur 1,0 erzielt werden kann.

In der Folgezeit hat Zeiss den achromatischen Kondensor insofern noch weiter ausgestaltet, als er jetzt einen solchen, ebenfalls zentrierbaren, mit num. Apertur 1,30 herstellt. Infolge seiner großen Apertur gestattet derselbe die Anwendung eines besonders weit ge-

[1]) Harting, Das Mikroskop Bd. III S. 317.

öffneten, oder eines sehr schiefen Beleuchtungskegels, der nicht mit den starken Aberrationen, wie die gewöhnlichen Kondensoren, behaftet ist. Doch dürfen die mit diesem Kondensor benutzten Objektträger nicht dicker als 0,7 mm sein.

Für Aufnahmen mit ultraviolettem Licht nach KÖHLER (s. S. 83) mußten besondere Kondensoren aus Bergkristall hergestellt werden. Dieses Kondensorensystem besteht aus 4 Linsen, deren Achsen mit der optischen Achse des Kristalls zusammenfallen. Das ganze System besitzt eine num. Apertur von 1,30, vorausgesetzt, daß die Frontlinse mit der unteren Fläche des Objektträgers durch eine Flüssigkeit von genügend hohem Brechungsexponenten verbunden wird. Die beiden obersten Linsen können leicht abgeschraubt und durch eine aplanatische Frontlinse ersetzt werden. Man erhält dann ein dreiteiliges System, dessen Apertur etwas über 0,80 beträgt. Die zwei unteren Linsen allein ergeben ein System mit Apertur 0,30. Um ein hinreichend großes Bild der Lichtquelle zu erhalten, wird man bei den schwächsten Monochromaten die zweilinsige Kombination, bei den mittleren die dreilinsige und bei den stärksten die vierlinsige gebrauchen.

u' u r

40

Der Quarzkondensor ist auf ein Schieberohr aufgeschraubt, welches in die Zentriervorrichtung (Fig. 40) für Objektive, die als Kondensoren benutzt werden sollen, paßt. Dieses Schieberohr enthält zugleich eine Irisblende dicht vor der untersten Linse des Kondensors.

d. Geschichtliches über die Beleuchtung der Objekte bei mikrophotographischen Aufnahmen

An der Hand obiger Auseinandersetzungen über die bei Beleuchtung mikroskopischer Präparate geltenden Grundsätze und über die Wirkung von Spiegel, Beleuchtungslinsen und Blenden wollen wir versuchen, die von den verschiedenen Autoren bei ihren mikrophotographischen Arbeiten eingeschlagenen Wege zu verfolgen.

In den Schriften über Mikrophotographie spielt bis in die neue Zeit hinein, auch nachdem die Lehrbücher von Dippel längst erschienen waren, aus denen die Autoren hätten Belehrung schöpfen können, die Beleuchtung der Objekte mit zerstreutem und konzentriertem Licht, mit parallelen, konvergierenden und divergierenden Strahlen eine Hauptrolle. Um sich und andere von der Richtigkeit ihrer Theorien zu überzeugen, unterlassen es die Autoren nicht, durch Zeichnungen den von ihnen gewünschten Strahlengang zu veranschaulichen. Ganz abgesehen nun davon, daß hierbei in nicht seltenen Fällen den einfachsten Gesetzen der Brechung und Reflexion geradezu Hohn gesprochen wird, entspringen die Irrtümer vorwiegend folgenden Fehlerquellen: Erstens wird die sphärische Abweichung außer acht gelassen, welche bewirkt, daß die von einem Punkte A (Fig. 41) ausgehenden, eine sphärische Linse unter verschiedenen Einfallswinkeln treffenden Strahlen sich nicht in einem, sondern in verschiedenen Punkten B, C, D schneiden. Befindet sich die Lichtquelle im Brennpunkte der Linse, so tritt nur ein Teil der Strahlen parallel aus, während ein anderer Teil divergiert oder konvergiert. Ferner ist die Vorstellung sehr verbreitet, daß die von einer fern gelegenen Lichtquelle, z. B. einer weißen Wolke, herrührenden Strahlen parallel einfallen. Das ist grundfalsch; je größere Ausdehnung die Lichtquelle hat, um so breiter ist der einfallende Strahlenkegel. Auch die direkten Sonnenstrahlen sind nicht parallel, sondern schließen einen Winkel von $^1/_2{}^0$ ein.

B C D A

41

Endlich erzeugt eine von sphärischer und chromatischer Abweichung völlig freie Linse von der in ihrem Brennpunkte aufgestellten Lichtquelle nur unter der Voraussetzung rein parallele Strahlen, daß die Lichtquelle verschwindend klein (ein mathematischer Punkt) ist. Hat die Lichtquelle, wie in Wirklichkeit unter allen Umständen, auch nur einige Ausdehnung, so sind neben den parallelen auch stets divergierende und konvergierende Strahlen vorhanden. Wie häufig begegnen wir der Behauptung, daß die Strahlen der im Brennpunkte

einer Linse aufgestellten Gas- oder Petroleumflamme durch die Linse parallel gemacht werden!

An den in erster Zeit zu mikrophotographischen Aufnahmen verwendeten Sonnenmikroskopen war „zur Konzentration der Strahlen“ ein Kondensor angebracht. Man erhielt also mit denselben von Diffraktionssäumen freie Bilder, was anders bei Verwendung von direktem Sonnenlicht nicht möglich gewesen wäre.

Gerlach[1] glaubt bei mikrophotographischen Arbeiten mit „konzentrierten parallelen“ Strahlen die besten Resultate zu erhalten. Er will dieselben dadurch erzeugen, daß er eine Sammellinse von 2,5 cm Brennweite mit einem Hohlspiegel von 4,5 cm Brennweite derart verbindet, daß das vom Hohlspiegel entworfene Bild der Lichtquelle sich im Brennpunkte der Sammellinse befindet. Um dies zu erreichen, soll der Abstand der Linse vom Spiegel $4,5 + 2,5 = 7,0$ cm betragen.

Als gutem Beobachter konnte es Gerlach nicht entgehen, daß man ein kräftigeres Licht erhält, wenn man nur Sammellinse oder Hohlspiegel verwendet und die Entfernung derselben vom Objekte so regelt, daß sich die Strahlen im Objekte schneiden; doch meint er, die Zeichnung in der Aufnahme sei nicht so scharf, als bei Anwendung seiner konzentrierten parallelen Strahlen. Wahrscheinlich war in ersterem Falle die Öffnung des beleuchtenden Lichtkegels für seine schwachen Objektive zu groß. Ihm ist der Einfluß der Blenden wohl bekannt; er wählt dieselben sehr klein, 0,4 bis 0,6 mm im Durchmesser. Da sich die Blenden jedoch unmittelbar unter dem Objekte befanden, so konnten sie bei den ohnehin sehr schmalen Beleuchtungskegeln kaum einen andern Einfluß ausüben, als die Strahlen von den außerhalb des aufzunehmenden Gesichtsfeldes liegenden Teilen des Präparates abhalten. Die dem Gerlachschen Werke beigegebenen Photogramme zeigen keine Diffraktionssäume. Die Breite des Beleuchtungskegels war also trotz der angeblich parallelen Strahlen für die schwachen Objektive ausreichend.

Moitessier in Paris, welcher sein ‚Lehrbuch der Mikrophotographie‘ im Jahre 1866 herausgab, verwendete zur Beleuchtung einen Dujardinschen Kondensor oder zwei Sammellinsen: eine größere mit einem Durchmesser von 5 bis 6 cm und einer Brennweite von 25 bis 30 cm und eine kleine, plankonvexe mit kurzer Brennweite. Erstere erhält das von einem großen Silberspiegel reflektierte Sonnenlicht; letztere soll je nach ihrem Abstande von der großen Linse parallele, konvergente oder divergente Strahlen auf das Objekt leiten. Moitessier

[1]) Gerlach, a. a. O. S. 21.

war ein größerer Praktiker, als Theoretiker. Trotz seiner irrigen Vorstellungen über den Gang der Strahlen weiß er recht gut, wie man die Sache anzufangen hat. Er ist der Erste, welcher es mit klaren Worten ausspricht, daß man in der Mikrophotographie die brauchbarsten Resultate erreicht, wenn man das Bild der Lichtquelle mit Hilfe des DUJARDIN schen Kondensors in das aufzunehmende Objekt verlegt [1]. Auf Seite 47 lesen wir: „Es ist notwendig, daß das Bild der Lichtquelle genau mit dem Objekt zusammenfällt". Dann gibt er Vorschriften, wie z. B. bei Verwendung einer weißen Wolke als Lichtquelle zu verfahren ist: Man richte den Planspiegel des Mikroskops auf einen sehr entfernten Gegenstand, etwa auf ein Haus, und stelle den Kondensor so, daß das Bild des Hauses scharf im Mikroskop erscheint. Hierauf wird der Spiegel der weißen Wolke zugewendet. Benutzt man als Lichtquelle einen von der Sonne beschienenen, weißen Schirm, so soll in der Mitte desselben ein mit großen Buchstaben bedrucktes Blatt Papier angebracht und der Kondensor so gestellt werden, daß man die Buchstaben im Mikroskop erkennt. Es sei notwendig, den Kondensor für jedes neue Präparat von neuem einzustellen, weil bei der verschiedenen Dicke der Objektträger die verschiedenen Präparate sich nicht immer genau in derselben Ebene befinden. Auch bei Verwendung von Sonnenlicht und Beleuchtung des Objektes mit zwei Sammellinsen sei diejenige Stellung der Linsen die vorteilhafteste, wo das durch dieselben erzeugte Sonnenbildchen genau mit dem abzubildenden Objekte zusammenfällt (MOITESSIER S. 61). Natürlich müsse das Bild der Lichtquelle in jedem Falle das aufzunehmende Gesichtsfeld ganz ausfüllen. Kommt es nicht auf größte Lichtstärke an, so könne man durch die Sammellinse auf matter Glasscheibe einen hellen Kreis von 6 bis 8 mm Durchmesser entwerfen; dieser Kreis dient dann als Lichtquelle und wird durch den Kondensor in die Objektebene projiziert. Die matte Scheibe ist mit Ausschluß des zu erleuchtenden Kreises mit schwarzem Papier zu bekleben, damit man mittels eines um zwei Achsen drehbaren Silberspiegels das Sonnenlicht leicht fortdauernd auf d e n s e l b e n Abschnitt der Scheibe leiten kann (MOITESSIER S. 65).

Wir haben die Ausführungen MOITESSIERS ausführlich wiedergegeben, um zu zeigen, daß demselben die Grundsätze, welche heute bei der Beleuchtung mikroskopischer Präparate maßgebend sind, bekannt waren. In völliger Unkenntnis aller geschichtlichen Tatsachen

[1]) BREWSTER (Treatise on the Microscope S. 135. 1837) hatte diese Art der Beleuchtung für die mikroskopische Beobachtung als die geeignetste erklärt.

bezeichnen heutigentags die meisten Geheimrat Koch als denjenigen, welcher bei mikrophotographischen Arbeiten zuerst die Verlegung der Lichtquelle in das Objekt vorschlug und das hierbei zu übende Verfahren beschrieb. Es bedarf keines Wortes darüber, daß Koch selbst die Priorität der Einführung der im obigen beschriebenen Beleuchtungsweise für sich niemals in Anspruch nahm.

Bedauerlich ist, daß Moitessier in Deutschland so wenig Anerkennung seiner Verdienste fand. Die ihm gebührenden Lorbeeren erntete Benecke, welcher das Moitessiersche Werk nicht ohne Fehler übersetzt, durch nicht immer zutreffende Bemerkungen erweitert und durch unglaublich unpraktische Erfindungen bereichert hat. Man spricht heute beispielsweise von der stereoskopischen Wippe nach Benecke; und doch ist das einzige Verdienst Beneckes um dieselbe, daß er die französische Beschreibung des Instrumentes ins Deutsche übertrug. So ging es in tausend anderen Dingen.

Um ein möglichst scharfes Sonnenbildchen in die Objektebene zu projizieren, will Moitessier für den Beleuchtungsapparat nur solche Linsen verwendet wissen, welche frei von sphärischer und chromatischer Abweichung sind[1]. Unterhalb des Dujardinschen Kondensors müsse sich eine Drehscheibe mit Blendungsöffnungen von verschiedener Weite befinden.

Da bei Verwendung ganz schwacher Objektive das Sonnenbildchen immer nur einen kleinen Teil des Gesichtsfeldes erleuchten würde, so entfernt Moitessier hierbei den Kondensor ganz und stellt eine große Sammellinse von 30 cm Brennweite derart auf, daß die Spitze des beleuchtenden Lichtkegels im Objektiv liegt, daß also das scharfe Bild der Lichtquelle in die Mitte des Objektives fällt. Dann erscheint das ganze Gesichtsfeld gleichmäßig hell erleuchtet.

Schiefe Beleuchtung erzielt Moitessier unter anderem auch durch Anwendung scheibenförmiger Blenden, welche den zentralen Teil des

---

[1]) Die diesbezügliche Stelle des Moitessierschen Werkes (S. 67) übersetzt Benecke völlig ungenau, indem er schreibt (S. 28): „Die Linsen des Beleuchtungsapparates müssen möglichst vollkommen achromatisch und namentlich aplanatisch sein, da diese Eigenschaften für die Schärfe des photographischen Bildes sehr vorteilhaft sind". Moitessier sagt dagegen: „Der ganze Beleuchtungsapparat muß achromatisch und besonders aplanatisch sein. Auf letztere Bedingung kommt es hauptsächlich an; von ihrer Erfüllung hängt die Schärfe des kleinen Sonnenbildchens ab, welche von großem Einfluß auf das Endresultat ist". Das ist genau der heute als gültig angenommene Satz: „Je schärfer das Bild der Lichtquelle im Objekt, um so schärfer das Photogramm". Aus den Beneckeschen Worten ist dies keineswegs ohne weiteres zu folgern.

Kondensors verdecken und nur durch seine Randteile Licht hindurchtreten lassen. Durch Vergrößerung des zentralen, undurchsichtigen Teiles der Blendung könne man die Schiefheit des Lichtes vermehren. Mitunter sei es zweckmäßig, eine Scheibe mit drei kleinen, mehr oder weniger exzentrischen Löchern, welche nur drei feinen, schiefen Lichtbündeln den Durchtritt gestatten, oder eine halbe Blendungsscheibe anzuwenden. Derartige, aus dünnem Blech oder dünner Pappe ausgeschnittene Blenden werden unterhalb des Dujardinschen Kondensors in die weiteste Öffnung der Drehscheibe eingesetzt, damit man dieselben durch Bewegung der Drehscheibe mehr oder weniger aus der Achse des Mikroskopes entfernen kann (Moitessier S. 78).

Das ist genau die Methode, nach der man jetzt mit Hilfe des Abbeschen Beleuchtungsapparates und seiner Zutaten den Gang der Lichtstrahlen regelt.

Wenn man das Moitessiersche Werk aus der Hand legt und sich in das zwei Jahre später erschienene Lehrbuch von Reichardt und Stürenburg vertieft, so überschleicht das Gefühl, als gelange man aus dem Paradies in die Wüste. Nach Reichardt und Stürenburg (S. 30) sollen die verschiedenen Spiegelstellungen hauptsächlich nur auf das Auge wirken und auch bei geradem Lichte soll auf der Photographie schon alles wiedergegeben werden. Eine Kondensorlinse von kleinem Durchmesser wirke nur als Blende; man könne daher mit Hinsicht auf die größere Schärfe des Bildes mit einer Blende ganz dasselbe erreichen usw.

Fritsch[1] macht auf die hohe Bedeutung der genauen Zentrierung aller Bestandteile des Beleuchtungsapparates aufmerksam; er weist darauf hin, daß zu enge Lichtkegel Diffraktionserscheinungen verursachen. Zur Beleuchtung verwendet er die ursprünglich dem Mikroskop beigegebene Linse, welche auf einem langen Arm angebracht wird, um die Möglichkeit bedeutender Verschiebung zu geben.

R. Koch[2] beleuchtet mit den Objektivsystemen No. II und IV von Hartnack. Daß er hierdurch, wie manche glauben, zuerst die Möglichkeit der Ausnutzung größerer Objektivaperturen gegeben habe, ist entschieden irrig; denn erstens ist die Beleuchtung durch Objektivsysteme aus England zu uns gekommen; ferner benutzten die Engländer schon lange vor Koch Kondensoren mit num. Apertur von beinahe 1,0; endlich hat der von Moitessier verwendete Dujardinsche Kondensor eine Apertur von 0,5 bis 0,6, also eine höhere, als die

---

[1]) ‚Licht‘, Zeitschrift für Photographie (Berlin) 1869 S. 190.

[2]) Cohn, Beiträge zur Biologie der Pflanzen Bd. II S. 399, 1877.

alten HARTNACKschen Systeme No. IV. Dagegen ist es das unbestrittene und nicht hoch genug zu veranschlagende Verdienst von KOCH, den Vorteil breiter Beleuchtungskegel bei Aufnahme gefärbter Bakterien durch vorzügliche Photogramme aufs schlagendste bewiesen zu haben.

KOCH sagt (a. a. O. S. 410): „Vor dem Gebrauche habe ich jedesmal nach Entfernung der matten Gläser und Einschaltung sehr dunkler Kobaltgläser das von dem Beleuchtungsobjekt entworfene Sonnenbildchen genau auf die Mitte des Objektes und auf die Ebene desselben eingestellt. Sobald dann nach Einschaltung einer matten Scheibe der Sonnenstrahl zerstreut wird, tritt der beste Beleuchtungseffekt ein". Es ist klar, daß bei diesem Verfahren während der Aufnahme ein scharfes Bild der Lichtquelle (in diesem Falle der durch Sonnenlicht erleuchteten matten Scheibe) sich nicht in der Objektebene befinden kann. Denn wenn der Kondensor die aus der Unendlichkeit kommenden Sonnenstrahlen in der Objektebene zu einem scharfen Bilde vereinigt, so tut er bei unveränderter Stellung dies nicht mit den Strahlen, welche von der in großer Nähe aufgestellten matten Scheibe ausgehen.

Dann verfuhr KOCH auch nach folgender Methode, welche besonders in den Fällen Wert besitzt, wo wegen zu dicker Objektträger das Präparat nicht ohne weiteres in den Brennpunkt des Kondensors zu bringen ist, oder das durch den Beleuchtungsapparat entworfene Sonnenbildchen das Gesichtsfeld des jeweilig benutzten Objektives nicht ausfüllt. Mit Hilfe einer Sammellinse von großer Brennweite entwarf er ein Sonnenbildchen in Nähe des Kondensors, genau in der optischen Achse desselben, welches nunmehr als Lichtquelle dienend durch den Kondensor in die Objektebene projiziert wird. Um hierbei die richtige Stellung des Kondensors und der Sammellinse zu ermitteln, ist folgender Weg der einfachste: Man pflanzt etwa 10 cm vom Kondensor entfernt eine matte Scheibe auf und richtet den Beleuchtungsapparat derart, daß das Korn der Scheibe im Mikroskop sichtbar wird. Hierauf begrenzt man mit dem Bleistift denjenigen Abschnitt der Scheibe, welcher in der Objektebene erscheint, bringt in unmittelbare Nähe der Scheibe eine Blende, deren Öffnung der Größe des gezeichneten Bleistiftkreises entspricht und entwirft mittels der Sammellinse ein scharfes Sonnenbildchen auf die so markierte Stelle der Scheibe. Nach Fortnahme der matten Scheibe wird das nunmehr frei in der Luft schwebende Sonnenbildchen durch den Kondensor in die Objektebene projiziert. Die Aufstellung der Blende gewährt den Vorteil, die durch Unregelmäßigkeiten im Gange des Heliostaten herbeigeführten Abweichungen leicht verbessern zu

können. Das durch die Sammellinse entworfene Sonnenbildchen wird vom Kondensor vergrößert wiedergegeben, wenn dasselbe zwischen einfacher und doppelter Brennweite des Kondensors liegt.

Nach Jeserich[1] kann die Beleuchtung mit Linsen sogar eine vierfache sein: „Entweder das Licht fällt auf das Objekt in parallelen Strahlen, oder die Strahlen divergieren, oder sie konvergieren, oder endlich das Objekt befindet sich im Kreuzungspunkte (Brennpunkte) der Strahlen". Als ob der letzte Fall etwas anderes wäre, als Beleuchtung mit konvergierenden Strahlen! Die Beleuchtungsweise mit parallelem, konvergentem und divergentem Lichte soll vorwiegend bei mittleren und schwächeren Vergrößerungen zur Anwendung gelangen (Jeserich S. 55). Der Autor sagt (S. 56): „Die Randstrahlen, welche zu Diffraktionserscheinungen und Unschärfen Anlaß geben könnten, beseitigt man durch Einschaltung passender Blenden". Nun, höchstens das Fehlen der Randstrahlen könnte zu Diffraktionserscheinungen Anlaß geben. Auf S. 63 lesen wir: „Da nun aber die vom Objektiv des Mikroskopes ausgehenden und das Bild auf der matten Scheibe zeichnenden Strahlen eine sehr starke Divergenz haben, so müßten die in dasselbe im Brennpunkte eintretenden Strahlen, die von der unter dem Objekt befindlichen Linse konvergent gemacht sind, wenn durchaus jede Diffraktionserscheinung vermieden werden soll, eine der Divergenz der eintretenden Strahlen genau entsprechende Konvergenz haben". Also: die konvergent gemachten, in den Brennpunkt des Objektives eintretenden Strahlen müssen eine der Divergenz der eintretenden Strahlen genau entsprechende Konvergenz haben! Jeserich behauptet ferner: „Wollten wir also dieser theoretisch vorgeschriebenen Forderung vollständig genügen, so müßten wir für jedes Objektiv ein entsprechendes Beleuchtungssystem dem Apparate einschalten. Es wäre diese Anordnung eine höchst kostspielige". Der in bezug auf seinen Geldbeutel geängstigte Mikrophotograph möge sich beruhigen. Denn wenn vielleicht Jeserich in dem oben angeführten mysteriösen Satze ausdrücken wollte, daß — was völlig irrig ist — zur Vermeidung von Diffraktionserscheinungen die Apertur des Kondensors genau die gleiche sein muß, wie diejenige des Objektives, so besitzen wir in den billigen Blenden ein vortreffliches Mittel zur Regulierung der Apertur des Beleuchtungsapparates.

Nachdem uns Jeserich mitgeteilt hat, daß er sich zur Beleuchtung einer großen Sammellinse und zweier unmittelbar hintereinander liegender, bikonvexer Linsen von kurzer Brennweite „mit sehr gutem

[1]) Jeserich, Die Mikrophotographie S. 53, 1888.

Erfolge“ bediene, erfahren wir, daß neben diesen einfachen Beleuchtungsanordnungen in letzter Zeit „ganz vorzügliche Beleuchtungsapparate konstruiert wurden, die allerdings einen ziemlich hohen Preis haben. Dieselben ersetzten durchweg die beiden kombinierten Linsen, welche sich unmittelbar unter dem Tische des Mikroskopes befinden“. Aus der Konstruktion des letzten Satzes ist nicht ohne weiteres zu ersehen, ob die beiden kombinierten Linsen durch die ganz vorzüglichen Beleuchtungsapparate oder die ganz vorzüglichen Beleuchtungsapparate durch die beiden kombinierten Linsen durchweg ersetzt werden. Letzteres möchten wir bezweifeln.

Leider hat uns Jeserich seine „sehr guten Erfolge“ vorenthalten; denn die dem Buche beigegebenen Mikrophotogramme gehören, soweit es sich um starke Vergrößerungen handelt, zu den kläglichsten Erzeugnissen dieser Gattung.

Es muß als besonders glücklicher Zufall begrüßt werden, daß unmittelbar nach dem Erscheinen des Jeserichschen Buches der „Spezialkatalog über Apparate für Mikrophotographie“ von Zeiss ausgegeben wurde, wo in geradezu klassischer Weise das überaus schwierige Gebiet der Beleuchtung abgehandelt ist. Für den ganz schwachen Apochromat von 75 mm Brennweite empfiehlt Zeiss — was schon Moitessier für schwache Objektive vorgeschlagen hatte — die Verlegung der Lichtquelle nicht in die Objektebene, sondern in die Mitte des Objektives.

e. Die heute angewendeten Verfahren bei Beleuchtung der Objekte

In folgendem soll kurz auseinander gesetzt werden, wie man nach den jetzt allgemein als richtig anerkannten Grundsätzen das Objekt zu beleuchten hat.

Mag die anzuwendende Vergrößerung schwach oder stark sein, stets empfiehlt es sich, zuerst genaue Zentrierung vorzunehmen. Man kann hierbei nach der von Fritsch[1] angegebenen Methode verfahren: man setzt in die Öffnungen, deren Lage zur optischen Achse kontrolliert werden soll[2], und auf die Beleuchtungslinsen geschwärzte

[1]) ‚Licht‘, Zeitschrift für Photographie (Berlin) 1869 S. 190.

[2]) Zeiss fertigt eine besondere Zentrierblende mit engem Loch, welche statt des Okulares in den Tubus eingeschoben wird. Sie bestimmt mit der Irisblende des Beleuchtungsapparates zusammen die Lage der optischen Achse.

Kartonscheiben und beobachtet durch eine feine, genau zentrale Öffnung derselben die zur Beleuchtung verwendete Lichtquelle. Es gelingt auf diese Weise, durch kleine seitliche Verschiebungen und Einschalten eines Stückes nach dem anderen die Lichtstrahlen durch die ganze Folge von kleinen Öffnungen bis auf die Mitte der Visierscheibe zu schicken, worauf das Beleuchtungssystem als genügend zentriert zu betrachten ist. Es ist daher notwendig, alle einzelnen Teile des Beleuchtungsapparates auf der optischen Bank derart anzubringen, daß sie sich sowohl in der Höhe wie nach rechts und links verstellen lassen. Auf der aus einer Metallschiene bestehenden optischen Bank sind die Beleuchtungsgegenstände nur in der Höhe, nicht aber seitlich verstellbar. Letzteres wird hier überflüssig, weil die ganze Anordnung bereits aufs genaueste zentriert ist.

Sehr leicht ausführbar und überaus sicher ist folgende vom Verfasser ausgeübte Methode der Zentrierung: An Stelle des Abbeschen Kondensors setzt man eine möglichst enge Blende und blickt durch ein ganz schwaches Okular in den Tubus, an dem sich ein Objektiv nicht befindet. Man hat nun die auf der optischen Bank befindliche Lichtquelle so lange zu verschieben, bis man das Bild der Lichtquelle in der Mitte des Okulares sieht. Um dann auch die Kamera in die optische Achse zu bringen, setzt man an die Stelle der engen Blende unter dem Objekttisch den Abbeschen Kondensor, schraubt ein ganz schwaches Objektiv (von etwa 30 mm Brennweite) an den Tubus und projiziert mit Hilfe des Okulares das Bild der Lichtquelle auf die matte Scheibe. Die Kamera ist so zu richten, daß das Bild der Lichtquelle genau auf die Mitte der Mattscheibe fällt.

Arbeitet man mit sehr starken Objektiven, so läßt sich die Zentrierung der Lichtquelle leicht folgendermaßen bewerkstelligen: Man nimmt das Okular heraus und blickt in den Tubus. Die Stellung der Lampe ist dann richtig, wenn das Flammenbildchen in der Mitte des Objektives steht. Voraussetzung ist hierbei, daß durch den Kondensor das Bild der Lichtquelle nicht genau in die Objektebene projiziert wird, weil man sonst nur eine der Apertur des Kondensors entsprechende helle runde Scheibe im Objektiv sieht.

Die Beleuchtung gestaltet sich verschieden, je nachdem man mit schwachen oder starken Objektiven arbeitet.

Handelt es sich um schwache Objektive (30 mm Brennweite und darüber), so projiziert man durch eine Sammellinse von 15 bis 20 cm Brennweite ein Bild der Lichtquelle in die Blendenebene des Objektives. Hält man ein weißes Blatt Papier neben das Objektiv, so läßt sich diejenige Stellung der Sammellinse leicht ermitteln, wo das von

ihr erzeugte Bild der Lichtquelle ungefähr in der Blendenebene des Objektives liegt.

Befindet sich die Lichtquelle in der optischen Achse und ist das Bild derselben in der Blendenebene des Objektives entworfen, so verharrt, wenn man oben in das Objektiv hineinblickt, das Lichtbildchen in der Mitte des Objektives, auch wenn der Beobachter mit dem Auge seitlich aus der optischen Achse abweicht.

Zeiss empfiehlt, bei ganz schwachen Objektiven (Projektionsobjektiven und Mikroplanaren) mit den sogenannten Brillenglaskondensoren unter Zuhilfenahme der Sammellinse mit Irisblende[1] folgendermaßen zu beleuchten: Die Sammellinse wird mit geöffneter Irisblende dicht bei dem Mikroskop, die Lampe etwa 12 bis 13 cm von dieser Linse entfernt aufgestellt. Für Objektive von 70 bis 100 mm Brennweite wird der Brillenglaskondensor 3, für solche von 20 bis 50 mm der Brillenglaskondensor 2 eingesetzt und zunächst dicht an das Präparat herangeschoben. Dann schiebt man das Vorderteil der Kamera hinweg und stellt die Lampe nahe hinter die Öffnung des Tubus, so daß das Licht nun in entgegengesetzter Richtung durch den Apparat hindurchgeht. Mit Hilfe von weißem Papier sucht man dann die Stelle auf, wo hinter der Sammellinse ein scharfes Bild der Objektivöffnung entsteht. Stellt man nun die Lampe so auf, daß die Flamme gerade dahin kommt, wo das Bild der Objektivöffnung lag, so muß das Bild der Flamme in die Blendenebene des Objektives fallen, vorausgesetzt, daß man an der Stellung der Linsen nichts ändert.

Je größer das aufzunehmende Gesichtsfeld ist, um so schwieriger wird es, die unbedingt notwendige, ganz gleichmäßige Beleuchtung herbeizuführen. Man überzeuge sich daher durch den Augenschein davon, ob auf der Mattscheibe tatsächlich gleichmäßige Helligkeit herbeigeführt ist. Man verfährt zu dem Zwecke folgendermaßen: Nachdem das Bild der Lichtquelle in die Blendenebene des Objektives projiziert ist, entfernt man das vordere Ansatzstück der Kamera, um von vorn einen Einblick in die Kamera bis zur Visierscheibe zu gewinnen. Nun ersetzt man die Visierscheibe durch eine weiße Pappscheibe und prüft, ob auf letzterer der vom Objektiv entworfene

[1]) Die Sammellinse mit Irisblende dient in erster Linie als Beleuchtungslinse bei mikrophotographischen Arbeiten, falls Auer-Licht oder eine andere, ähnliche Lichtquelle mit ausgedehnter Oberfläche und mäßiger Intensität, z. B. Petroleumlicht, in Anwendung kommt. Sie hat nahezu 6 cm Öffnung bei etwa $12^1/_2$ cm Brennweite und ist in einem Ring gefaßt, welcher eine Irisblende trägt. Die größte Öffnung der letzteren ist gleich der Linsenöffnung; die kleinste Öffnung beträgt etwa 3 mm.

Lichtkreis gleichmäßige Helligkeit besitzt. Ist letzteres nicht der Fall, so kann man durch Verschieben der Sammellinse und der Lichtquelle mit großer Leichtigkeit völlige Gleichmäßigkeit des Lichtkreises herbeiführen. Erst nachdem dies erreicht ist, wird das Präparat auf den Objekttisch gelegt.

Wie viel von der Öffnung des Objektives von dem Beleuchtungskegel benutzt wird, erkennt man beim Hineinschauen in den Tubus, indem man den Teil des Objektives, welcher von der Lichtquelle direkt in Anspruch genommen wird, hell erleuchtet, den unbenutzten dagegen dunkel sieht. Eine Regulierung des Beleuchtungskegels, für welche die früher (S. 113) auseinandergesetzten, allgemeinen Regeln gelten, findet statt, indem man die Lichtquelle (z. B. eine Lampe oder eine durch kräftiges Licht hell beleuchtete matte Scheibe) durch Vorsetzen größerer oder kleinerer Blenden in ihrem Durchmesser so verändert, daß das Bildchen derselben nur etwa ein Drittel des Objektives in Anspruch nimmt. Auch durch Einsetzen von Blenden in das Objektiv erreicht man, daß von letzterem nicht mehr als ein Drittel der freien Öffnung durch den Beleuchtungskegel in Anspruch genommen wird. Bei den für derartige Arbeiten besondere konstruierten Objektiven (Projektionsobjektiven, Mikroplanaren usw.) sorgt schon der Optiker dafür, daß sich die richtige Blende im Objektiv befindet.

Da es vorteilhaft ist, von dem ganzen Präparate nur das Gesichtsfeld zu erleuchten (s. S. 120), so bringt man unmittelbar unter dem Präparate eine Blende an, welche nur wenig größer als das Gesichtsfeld ist.

Handelt es sich um Aufnahme ungewöhnlich großer Präparate, so wächst die Schwierigkeit, das Gesichsfeld mit Hilfe von Linsen gleichmäßig zu erhellen. Man kann dann nach dem Vorgange von Forgan[1] unter dem Präparate eine beiderseits mattierte Glastafel anbringen und dieselbe von rückwärts beleuchten.

Bei Aufnahmen mit Objektiven von langer Brennweite ist das Objekt sorgfältig vor Oberlicht zu schützen. Letzteres würde einen unregelmäßigen Strahlengang erzeugen, wodurch die Schärfe des Bildes leidet. Läßt man einem nur mit durchfallendem Lichte beleuchteten Objekte Oberlicht zukommen, so ergibt sich hierdurch eine störende Verschleierung des Bildes. Bei Objektiven mit kurzer Brennweite ist Oberlicht schon deshalb weniger nachteilig, weil das nahe am Deckgläschen befindliche Objektiv den Strahlen Zutritt kaum gestattet.

---

[1]) Journal of the Royal Microscopical Society 1896 S. 249.

So viel über die Beleuchtung bei Benutzung ganz schwacher Objektive. In allen übrigen Fällen verfährt man bei der Beleuchtung derart, daß man das Bild der Lichtquelle in die Objektebene projiziert. Ist letzteres geschehen, so erblickt man bei der Okularbeobachtung Präparat und Bild der Lichtquelle gleichzeitig scharf. Sieht man darauf nach Herausnahme des Okulares in den Tubus hinein, so erscheint ein mehr oder minder großer Teil der freien Öffnung des Objektives gleichmäßig hell erleuchtet. Erblickt man im Tubus ein aufrechtes oder umgekehrtes Bild der Lichtquelle, so ist die Stellung des Kondensors nicht die richtige.

Ab und zu begegnet man der Vorstellung, als ob durch Projektion des Bildes der Lichtquelle in die Objektebene ein ganz besonderer, schwer zu erklärender Einfluß auf die Beschaffenheit des Bildes ausgeübt werde. Davon kann keine Rede sein. Vor allen Dingen wird hierdurch das Objekt nicht etwa zu einem selbstleuchtenden gemacht. Selbstleuchtende Körper senden ihre Strahlen nach allen Richtungen hin. Bei Beleuchtung mit durchfallendem Licht wird durch die Lage des Bildes der Lichtquelle (ob innerhalb oder außerhalb des aufzunehmenden Objektes) in der Richtung der Strahlen nichts geändert.

Die Verlegung des Bildes der Lichtquelle in das Objekt bietet folgende Vorteile. Sie ermöglicht:

1. eine gleichmäßige Beleuchtung des ganzen Gesichtsfeldes,
2. die Erhellung nur des aufzunehmenden Teiles vom ganzen Präparat,
3. die Ausnutzung der vollen Apertur des jeweilig benutzten Beleuchtungsapparates.

Die Erwärmung, welcher das Präparat hierbei unter Umständen ausgesetzt wird, ist kein Grund gegen die Anwendung dieser Methode. Sie beweist vielmehr nur, daß die gegebene Kraft der Lichtquelle am vollkommensten zur Ausnutzung gelangt. Man kann die Wärmestrahlen durch Einfügen einer mit gelb gefärbtem Wasser gefüllten Küvette ausmerzen (s. S. 86).

Bei Projektion des Bildes der Lichtquelle in die Objektebene wird gleichmäßige Beleuchtung des Gesichtsfeldes freilich nur dann erzielt, wenn die Lichtquelle selbst in größerer Ausdehnung gleichmäßig hell ist. Das trifft aber z. B. bei Petroleum- und Auer-Licht keineswegs zu. Bei Benutzung von Auer-Licht stört besonders, daß die Maschen des Glühstrumpfes mit abgebildet werden. Versucht man, diesen Fehler dadurch zu vermeiden, daß man durch geringfügige Änderung in der Stellung des Kondensors das Bild der Lichtquelle außerhalb der Objektebene projiziert, so verliert man einen

Teil der Vorzüge, welche die Projektion des Bildes der Lichtquelle in die Objektebene mit sich bringt.

Recht unangenehm kann auch beim Arbeiten mit mittelstarken Trockensystemen werden, daß das vom ABBEschen Kondensor in die Objektebene projizierte Flammenbildchen das aufzunehmende Gesichtsfeld nicht ausfüllt.

Diese Fehler beseitigt man am sichersten und einfachsten durch das von KÖHLER[1] angegebene Verfahren: KÖHLER projiziert durch den ABBEschen Kondensor nicht das Bild der Lichtquelle selbst in die Objektebene, sondern das Bild einer durch die Lichtquelle gleichmäßig erleuchteten Sammellinse, welche nunmehr ihrerseits als Lichtquelle wirkt. Das Arbeiten nach diesem Verfahren gestaltet sich folgendermaßen: Man stellt die Lichtquelle $^1/_2$ bis 1 m vom Objekttisch entfernt auf der optischen Bank auf; etwa in die Mitte zwischen Lichtquelle und Objekttisch, letzterem etwas mehr genähert, kommt eine Sammellinse von 6 bis 10 cm Durchmesser und 12 bis 20 cm Brennweite[2]. Nunmehr blickt man nach Herausnahme des Okulares in den Tubus und stellt die am ABBEschen Beleuchtungsapparat befindliche Irisblende so, daß nur der dritte Teil der freien Öffnung des Objektives von Licht erfüllt ist. Nachdem dies geschehen, bewirkt man durch Verschieben der Sammellinse, daß ein scharfes Bild der Lichtquelle auf die am ABBEschen Beleuchtungsapparat befindliche Irisblende geworfen wird. Man achte darauf, daß das Bild der Lichtquelle nicht wesentlich größer ist, als die Öffnung der Irisblende. Durch Verschieben von Lichtquelle und Sammellinse läßt sich dies leicht erreichen. Nunmehr wird der ABBEsche Kondensor so weit verschoben, daß die auf die Mitte der Sammellinse gehaltene Spitze eines Federmessers zugleich mit dem Präparate im Mikroskop scharf erscheint. Man hat dann ein gleichmäßig helles, vorzüglich erleuchtetes Gesichtsfeld.

Durch die Sehfeldblende erreicht man, daß nur das aufzunehmende Gesichtsfeld erhellt ist. Die Sehfeldblende ist eine große Irisblende, welche auf der optischen Bank in möglichster Nähe der Sammellinse angebracht wird. Am zweckmäßigsten wird sie mit der Sammellinse unmittelbar verbunden. Während man in das Mikroskop hineinschaut, wird die Sehfeldblende so klein gestellt, daß ihre Ränder das aufzunehmende Gesichtsfeld begrenzen.

---

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. X, 1893, S. 433.

[2]) Sehr geeignet hierfür ist die auf Seite 131 in der Fußnote beschriebene Sammellinse mit Irisblende von ZEISS.

Das KÖHLERsche Verfahren schützt das Mikroskop in bester Weise vor Erwärmung, denn die Lichtquelle befindet sich in erheblichem Abstande von demselben; es gestattet ferner gleichmäßig helle Erleuchtung, wie sie in so vollkommener Weise durch kein anderes Verfahren zu erzielen ist; es erlaubt drittens beste Regelung der Breite des Beleuchtungskegels (mit Hilfe der am ABBEschen Beleuchtungsapparate angebrachten Irisblende); endlich gewährt es die Möglichkeit, nur das aufzunehmende Gesichtsfeld zu erleuchten (mit Hilfe der Sehfeldblende)[1]. Auch beim Arbeiten mit Immersionen leistet das KÖHLERsche Verfahren die ausgezeichnetsten Dienste. Bei Verwendung von Petroleum- oder AUER-Licht wird man die oben beschriebene Sammellinse mit Irisblende benutzen. Bei Sonnenlicht ist eine Sammellinse von größerer Brennweite (70 bis 100 cm) empfehlenswert, weil sie ein größeres Sonnenbildchen liefert. Für elektrisches Bogenlicht und Kalklicht sind die zwei- oder dreiteiligen Kondensoren vorteilhaft, wie man sie in Projektionsapparaten verwendet. Um hiermit ein so großes Flammenbildchen zu erzeugen, daß die volle Öffnung des ABBEschen Beleuchtungsapparates damit bedeckt wird,

[1]) In seiner „Gebrauchsanweisung für die Sammellinse mit Irisblende" (M. 74) macht ZEISS darauf aufmerksam, daß bei Benutzung der nichtachromatischen Kondensoren, sowie des achromatischen Kondensors von 1,30 Apertur die Öffnung der unmittelbar unter dem Kondensor angebrachten Irisblende in Nähe der Objektebene (etwa 5 mm über derselben) abgebildet wird. Dort muß also auch das Bild der Lampe abgebildet werden, wenn man dasselbe mit Hilfe einer Sammellinse auf der Irisblende des Kondensors entwirft. Aus diesem Grunde sei es das beste, wenn das Bild der Lampe weit von der Objektebene entfernt und nahe dem hinteren Brennpunkte des Mikroskopes liegt. Letzterer fällt praktisch meist mit dem Bildchen der Objektivöffnung (der sogenannten Austrittspupille) zusammen, das hinter der Augenlinse des Okulares liegt. Man braucht also nur dieses Öffnungsbildchen mit Hilfe einer Einstellupe zu beobachten und zu untersuchen, ob man es gleichzeitig mit dem Bildchen der Lampe scharf sieht. Ist dies nicht der Fall, so muß man die Lampe verschieben.

Verfasser bemerkt hierzu, daß er bei seinen vieljährigen Arbeiten nach dem KÖHLERschen Verfahren mit den verschiedensten Kondensoren und Objektiven niemals irgendwelchen schädlichen Einfluß auf die gleichmäßige Helligkeit des Bildfeldes bemerkte, wenn man das Bild der Lampe scharf auf die Irisblende des Kondensors projiziert. Liegt das vom Kondensor entworfene Bild der Irisblende ungefähr 5 mm über der Objektebene, so genügt dieser Abstand selbst bei Benutzung schwächerer Trockensysteme, um keine Spur mehr, z. B. von dem Gewebe des AUER-Strumpfes, auf der Mattscheibe zu erhalten. Nur darf man niemals vergessen, den ABBEschen Kondensor so zu stellen, daß ein auf die Oberfläche der Sammellinse gehaltener, spitzer Gegenstand im Mikroskop gleichzeitig mit dem Präparat scharf erscheint.

ist der Regel nach Einschaltung einer Konkavlinse erforderlich, welche das von dem großen Kondensor entworfene Flammenbildchen vergrößert. Zeiss liefert Konkavlinsen dieser Art. Übrigens kann man sich bei Benutzung von punktförmigen Lichtquellen (Sonnenlicht; elektr. Bogenlicht; Kalklicht) auch dadurch behelfen, daß man in der Blendenebene des Abbeschen Kondensors eine Mattscheibe vom feinsten Matt anbringt und auf derselben mit Hilfe der oben beschriebenen Sammellinse mit Irisblende ein so großes Bild der Lichtquelle entwirft, daß die jeweilig benutzte Öffnung des Abbeschen Kondensors ausgefüllt wird. Freilich geht hierbei Licht verloren; doch spielt dies bei der ungemeinen Intensität dieser Lichtquellen kaum eine Rolle. Dafür erhält man wundervoll gleichmäßige Erleuchtung des Gesichtsfeldes.

Auch bei Immersionen versäume man niemals, die Arbeiten damit zu beginnen, daß man nach Scharfeinstellen des Präparates für die Okularbeobachtung die Breite des Beleuchtungskegels kontrolliert (durch Hineinschauen in den Tubus nach Herausnahme des Okulares). Kommt es z. B. bei Aufnahme gefärbter Bakterien darauf an, einen möglichst breiten Beleuchtungskegel zur Verfügung zu haben, so wird man unter Umständen die Frontlinse des Kondensors mit der Unterseite des Objektträgers durch einen Öltropfen verbinden. Freilich hüte man sich, auch bei Bakterienaufnahmen, die Breite des Beleuchtungskegels ohne Not zu steigern, da mit der Größe der Apertur auch die Wölbung des Bildfeldes zunimmt und Mikrophotogramme, bei denen nur ein ganz kleiner Teil der Mitte scharf ist, keinen günstigen Eindruck machen.

Bevor man zur Aufnahme schreitet, soll zu allerletzt noch einmal durch Hineinblicken in den Tubus (nach Herausnahme des Okulares) die Breite des Beleuchtungskegels geprüft werden. Es kann sich nämlich ereignen, daß durch das Herumhantieren an der optischen Bank, durch Verstellen des Kondensors, Ablaufen des Öls usw. Änderungen in der Breite des Beleuchtungskegels eintreten. Zum Gelingen einer tadellosen Aufnahme ist aber richtige Breite desselben unerläßliche Vorbedingung. Besonders beim Arbeiten mit ungemein intensiven Lichtquellen, kann man sich über die Breite des Beleuchtungskegels leicht täuschen: Blickt man nach Herausnahme des Okulares in den Tubus, so ist alles von Licht derart überflutet, daß man glaubt, mit sehr großer, wirksamer Apertur zu arbeiten. Erst wenn man nach Einschaltung dunkler Gläser das Licht für das Auge dämpft, gewahrt man, daß nur ein verhältnismäßig kleiner Teil der freien Öffnung des Kondensors gleichmäßig hell ist. Es gibt also

viele Klippen, an denen der Mikrophotograph scheitern kann und nicht wenige bringen nur deshalb niemals ein gute Aufnahme zustande, weil sie nur äußerlich die Regeln befolgen und sich zu wenig in den Geist derselben hineinleben.

Über die ganz eigenartige Beleuchtungsanordnung beim Arbeiten mit dem Ultramikroskop von Zeiss werden wir in Abschnitt V, 3 sprechen.

f. Besonderheiten der Beleuchtung bei Aufnahme von Diatomeen

Die Regel, daß beim Photographieren ungefärbter Präparate die Apertur des Beleuchtungskegels ungefähr ein Drittel von der Apertur des jeweilig benutzten Objektives ausmachen soll, erfährt bei der Aufnahme von Diatomeen eine Ausnahme. Hier lassen sich allgemeine Sätze nicht aufstellen. Manche Diatomeen zeigen die ihnen eigentümliche Streifung oder Felderung schon bei schmalen, zentralen Beleuchtungskegeln; bei anderen müssen Lichtkegel von ziemlicher Breite angewendet werden; wieder andere verlangen den Ausschluß der zentralen Lichtkegel und alleinige Beleuchtung mit seitlich einfallendem Licht.

All diese Abänderungen lassen sich bei unseren jetzt üblichen Beleuchtungsapparaten in einfachster Weise durch Blenden erreichen. Die von drei feinen Stäbchen gehaltene, geschwärzte Metallplatte, welche den zentralen Teil des Kondensors verdeckt, leitet von allen Seiten schräg einfallendes Licht auf das Präparat. Weit häufiger wird jedoch schiefe Beleuchtung dadurch gewonnen, daß man eine unter dem Kondensor angebrachte Blendung mit kleiner runder Öffnung seitlich verschiebt, so daß nur von einer Seite Lichtbüschel einfallen. Die guten Beleuchtungsapparate besitzen eine Vorrichtung, welche die Drehung des Blendungsträgers um die Achse des Kondensors erlaubt. Auf diese Weise kann man mit der exzentrisch liegenden, engen Blende von jeder Seite schiefes Licht auf das Objekt leiten und feststellen, bei welcher Lage der Blende die Auflösung der Zeichnung die beste ist.

Wird bei schiefer Beleuchtung nur auf einen kleinen Teil der Randzone des Kondensors Licht geleitet, so wirkt auch bei den gewöhnlichen, nicht achromatischen Kondensoren die sphärische Abweichung nicht so störend, wie bei der Beleuchtung mit breiten Strahlenkegeln. Die Benutzung achromatischer Kondensoren ist hier

also nicht geboten. Man tut gut, sich durch Herausnahme des Okulares und Hineinblicken in den Tubus stets davon zu überzeugen, welcher und ein wie großer Teil der Randzone des Objektives hell erleuchtet ist.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß die Kieselschalen der Diatomeen je nach Art der Beleuchtung und der Apertur des Objektivsystems ganz verschiedenartige Zeichnung darbieten. So zeigt z. B. das bekannte Probeobjekt Pleurosigma angulatum unter Benutzung von Trockensystemen oder Wasserimmersionen von nicht hoher Apertur sowohl bei zentraler Beleuchtung, wie bei schiefem Licht sechseckige Felder. Große num. Apertur ergibt bei zentraler Beleuchtung helle Kreise, zwischen denen dunkele Punkte erscheinen. Schiefe Beleuchtung zeigt bei einer Apertur bis 1,10 schachbrettartige Felderung. Ganz schiefe Beleuchtung läßt bei Apertur 1,40 ein Bild erscheinen, bei dem helle, rechteckige Felder von einem schmalen, dunkelen Streifen durchschnitten und durch letzteren mit darüber und darunter liegenden dunkelen, rechteckigen Feldern verbunden werden.

Sobald Aperturen, welche größer als 1 sind, zur Wirksamkeit gelangen sollen, ist nicht nur ein Kondensor nötig, der größere num. Apertur als 1 hat, sondern es muß auch die Frontlinse des Kondensors mit dem Objektträger durch einen Öltropfen verbunden werden; auch dürfen nicht trocken eingebettete Diatomeen als Objekt dienen[1].

Über die Beleuchtung bei Aufnahme von Amphipleura pellucida, des am schwierigsten zu lösenden Probeobjektes, mögen noch einige Bemerkungen folgen. Bei Amphipleura pellucida kommen auf 1 mm 4000 bis 4500 Querstreifen; der Abstand derselben beträgt also 0,00025 bis 0,00022 mm. Da nun der kleinste, durch ein bestimmtes Objektiv zu lösende Streifenabstand e sich ergibt für zentrale Beleuchtung als Quotient der Wellenlänge (λ) durch die num. Apertur (a), für möglichst schiefe Beleuchtung als Quotient der halben Wellenlänge durch diese Apertur[2], so kann unter Zugrundelegung von weißem Tageslicht mit Wellenlänge $\lambda = 550$ ($= 0,00055$ mm) eine Auflösung der Streifen bei zentraler Beleuchtung überhaupt nicht, bei möglichst schiefer Beleuchtung erst dann eintreten, wenn eine Apertur von mindestens 1,10 wirksam wird. Denn für zentrale Beleuchtung gilt die Formel (s. S. 82):

---

[1]) Über die zur Aufnahme am meisten geeigneten Präparate näheres in Abschnitt VIII.

[2]) Vergl. Abschnitt III S. 82.

$$e = \frac{\lambda}{a}$$

$$0{,}00025 = \frac{0{,}00055}{a}$$

$$a = \frac{0{,}00055}{0{,}00025} = 2{,}2.$$

Das Objektivsystem, welches bei zentraler Beleuchtung mit Wellenlänge 550 Amphipleura pellucida auflöst, müßte demnach eine num. Apertur von 2,2 haben. Dergleichen Objektive besitzen wir nicht; daher ist die Streifung bei zentraler Beleuchtung mit Wellenlänge 550 nicht zu lösen.

Für möglichst schiefe Beleuchtung gilt die Formel:

$$e = \frac{\lambda}{2a}$$

$$0{,}00025 = \frac{0{,}00055}{2a}$$

$$a = \frac{0{,}00055}{2 \cdot 0{,}00025} = \frac{0{,}00055}{0{,}00050} = 1{,}10.$$

In diesem Falle wird also unter Anwendung von weißem Tageslicht die Streifnng der Amphipleura gelöst, wenn eine Apertur von mindestens 1,10 zur Ausnutzung gelangt. Bei denjenigen Exemplaren dieser Diatomee, wo der Streifenabstand nur 0,00022 mm beträgt, ist sogar eine Apertur von mindestens 1,25 nötig, denn: $a = \frac{0{,}00055}{2 \cdot 0{,}00022} = \frac{0{,}00055}{0{,}00044} = 1{,}25$. Verwendet man kurzwelliges blaues oder violettes Licht zur Beleuchtung, so vollzieht sich die Auflösung des Streifenabstands schon bei kleineren Aperturen, wie sich aus folgender Berechnung ergibt, bei welcher blaues Licht mit Wellenlänge 430 (= 0,00043 mm) vorausgesetzt wird: $a = \frac{0{,}00043}{2 \cdot 0{,}00025} = \frac{0{,}00043}{0{,}00050} = 0{,}86$. Hier bringt also schon eine wirksame Apertur von 0,86 bei möglichst schiefer Beleuchtung das Streifensystem zur Auflösung.

Wenn bei Anwendung von stärksten Trockensystemen mit Apertur 0,95 die Auflösung der Amphiplenra trotz kurzwelligen Lichtes allerdings nur in seltenen Fälleu gelingt, so hat das seinen Grund in der Unvollkommenheit der Korrektion der äußersten Randzone, welche bewirkt, daß das System die Grenze des Auflösungsvermögens, welche ihm theoretisch durch die Apertur gesetzt ist, nicht erreicht. Verwendet

man ein System von höherer Apertur, ohne die volle Öffnung auszunutzen, so liegt die Randzone der **benutzten** Öffnung innerhalb des Gebietes vollkommener Korrektion, und die Auflösung geht daher auch bei der Apertur 0,95 glatt vonstatten. Die Apochromate kommen der theoretischen Grenze des Auflösungsvermögens infolge ihrer vortrefflichen Korrektion außerordentlich nahe.

Neben der Querstreifung besitzt Amphipleura pellucida sehr feine Längsstreifung, deren Lösung größere Aperturen als 1 erfordert, bei deren Aufnahme also auch Frontlinse des Kondensors und Unterseite des Objektträgers durch einen Öltropfen zu verbinden sind. Regelt man die Beleuchtung derart, daß die einfallenden Lichtstrahlen eine der mittleren Raphe der Diatomee parallele Richtung haben, so erscheint nur die Querstreifung gelöst; bilden dagegen die einfallenden Strahlen mit dieser Raphe einen spitzen Winkel, so machen sich gleichzeitig die Längsstreifen bemerkbar: die ganze Oberfläche des Kieselpanzers löst sich auf in ein System von Wellenlinien und Tüpfeln. Wird der spitze Winkel zu einem rechten, so verschwinden die Querstreifen, und nur die Längsstreifen verbleiben. Durch Drehung des mit einer exzentrischen Blende versehenen Blendungsträgers um die optische Achse des Kondensors kann man den Winkel, welchen die einfallenden Strahlen mit der Längsachse der Diatomee bilden, beliebig von 0° auf 90° steigern.

Der praktischen Verwendung von kurzwelligem Licht bei Lösung von Amphipleura mit gewöhnlichen Mikroskopobjekten sind enge Grenzen gezogen: einerseits muß das Licht für das Auge immer noch gut wahrnehmbar sein, anderseits sind die Objektive für kurzwelligstes Licht nicht ausreichend korrigiert. Bei Versuchen nach dieser Richtung hin kommen überhaupt nur Apochromate in Frage. Objektive von altem Typus sind für kurzwelliges Licht so mangelhaft korrigiert, daß hierdurch die Vorzüge dieses Lichtes aufgehoben werden[1]. Das kurzwelligste, für Auflösung von Amphipleura noch brauchbare Licht liefert nach Zettnow[2] eine Auflösung von Jod in Chloroform: dieselbe läßt in passender Verdünnung nur rote und violette Strahlen hindurch, so daß man nach Absorption der

---

[1]) Vergl. hierüber: Czapski, ‚Die voraussichtlichen Grenzen der Leistungsfähigkeit des Mikroskops‘: Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. VIII, 1891, S. 151.

[2]) Eders Jahrbuch für 1893 S. 262. Gifford (Journal of the Royal Microscopical Society 1895 S. 145) verwendet als violettes Filter gesättigte Lösung von Methylviolett oder Gentianaviolett in Verbindung mit einer grünen Scheibe.

letzteren durch ein Kupferoxydammoniakfilter (s. S. 69) imstande ist, nur violettes Licht zu benutzen. Enthält die Lösung ein halbes Prozent Jod, so genügt eine 6 mm dicke Schicht, um mit Strahlen von *G* ab nach *H* hin allein zu arbeiten. Bei diesem Filter kommen also zwei Küvetten zur Verwendung, da sich die beiden Flüssigkeiten nicht mischen. Die Strahlen zwischen *G* und *H* haben eine durchschnittliche Wellenlänge von 415; die hierdurch gebotenen Vorteile gegenüber dem weißen Lichte ($\lambda = 550$) sind sehr bedeutend; denn eine Wirksammachung der Wellenlänge $\lambda = 415$ statt der mittleren Wellenlänge des gewöhnlichen Tageslichtes $\lambda = 550$ ist gleichbedeutend mit einer Erhöhung der Apertur von 1,40 auf 1,85.

Leider steht der Verwendung von violettem Licht bei Auflösung von Amphipleura ein bedeutsames Hindernis entgegen: Präparate dieser Art sind am leichtesten zu lösen, wenn die Kieselschalen in Realgar (Brechungsexponent 2,4) eingebettet liegen. Nun verschluckt aber das grüngelbe Realgar die violetten Strahlen. Man ist also gezwungen mit einem Präparat zu arbeiten, welches in farblosem Medium (Jodquecksilber) eingebettet liegt und wegen seines geringeren Brechungsexponenten für die Auflösung weniger günstig ist. Wägt man die Vorteile miteinander ab, welche auf der einen Seite violettes Licht, auf der andern Seite Realgar mit sich bringen, so wird man lieber unter Verzicht auf violettes Licht mit dem Realgarpräparat arbeiten und das hierfür brauchbare blaue Licht (Kupferoxydammoniakfilter) benutzen.

Für die Auflösung von Amphipleura pellucida ist das Monobromnaphthalin-Immersionssystem von Zeiss (s. S. 46) wegen seiner sehr hohen Apertur (1,60) hervorragend brauchbar. van Heurck, Zettnow und andere konnten mit diesem System vorzügliche Perlenauflösung der Amphipleura herbeiführen. Verwendet wurde hierbei blaues Licht und Realgarpräparat, bei dem Objektträger und Deckglas aus hochbrechendem Flint besteht. Natürlich mußte auch die Apertur des Kondensors 1,60 betragen und die Unterseite des Objektträgers mit der Frontlinse des Kondensors durch Monobromnaphthalin verbunden werden.

In ein ganz neues Stadium trat die Auflösung von Amphipleura pellucida durch Einführung des ultravioletten Lichtes in Mikrophotographie (s. Abschnitt V, 4). Arbeitet man mit Wellenlänge $\lambda = 275$ (Cadmiumlinie S. 94), so lassen sich die Querstreifen bei zentraler Beleuchtung mit einem Monochromaten (S. 51) von 1,10 num. Apertur auflösen, bei möglichst schiefer Beleuchtung sogar schon mit einem Monochromaten von 0,505 num. Apertur. Da nun der stärkste, von

Zeiss gefertigte Monochromat eine Apertur von 1,25 hat, so ist ohne weiteres ersichtlich, daß nach genannter Methode eine viel vollkommenere Auflösung der Amphipleura erreichbar wird, als selbst mit der Monobromnaphthalin-Immersion. In dem Laboratorium von Zeiss sind denn auch mit ultraviolettem Lichte Bilder der Amphipleura hergestellt, welche die Punktauflösung in geradezu klassischer Weise zeigen (s. Tafel II).

Da es sich bei Amphipleuraaufnahmen stets um schmale Beleuchtungskegel handelt, so ist zwar die Ebenheit der Bilder ungewöhnlich groß, doch sind Diffraktionssäume um so schwerer zu vermeiden, als das verwendete Licht der Regel nach sehr kräftig ist. Diese Diffraktionssäume, welche jede Art der Zeichnung vortäuschen können, charakterisieren sich dadurch, daß sie nicht nur innerhalb, sondern auch außerhalb der Kieselschale auftreten. Ganz zu vermeiden sind sie bei schiefer Beleuchtung und schmalen Lichtkegeln niemals, doch ist es ein gewaltiger Unterschied, ob sie derart überwiegen, daß die ganze, vorhandene Zeichnung offenbar nur durch sie hervorgerufen ist, oder ob sie gleichsam eine unscheinbare Zugabe zum Bilde darstellen. In nicht wenigen Fällen hält es sehr schwer, mit Sicherheit zu entscheiden, wie viel von der Zeichnung auf Rechnung der Interferenzlinien zu setzen ist. Zahl, Breite und regelmäßige Anordnung der Streifen dürften kaum zuverlässige Merkmale für die Beurteilung abgeben. Mitunter wird das Verschwinden der Streifen bei Erweiterung des einfallenden Lichtkegels über die Natur der Streifung Aufklärung verschaffen, doch darf man nicht vergessen, daß eine Erweiterung des Beleuchtungskegels schließlich auch die in Wirklichkeit vorhandene Streifung zum Verschwinden bringt. Den besten Anhalt hat man immer an den außerhalb der Kieselschale auftretenden Linien. Wer daher, wie es leider wiederholt bei Photogrammen, welche für die Struktur der Diatomeen beweisend sein sollten, geschehen ist, das Gesichtsfeld bis nahe an den Rand der Kieselschale abdeckt, macht seine Bilder völlig wertlos, indem er jede Kritik über die Natur der vorhandenen Streifen abschneidet. Ein Photogramm von Amphipleura pellucida ist um so wertvoller, je weniger austretende Diffraktionslinien sich bemerkbar machen.

In ganz ähnlicher Weise wie bei Aufnahme von Amphipleura pellucida hat man zu verfahren, wenn es sich um Herstellung eines Photogrammes von irgendeiner andern Diatomee handelt. Das Gelingen eines guten Bildes hängt stets von der richtigen Beleuchtung des Objektes ab.

2. Beleuchtung mit auffallendem Licht

Die Beleuchtung mikroskopischer Objekte mit auffallendem Licht spielte vor Jahrzehnten eine große Rolle. Jetzt tritt dieselbe — wohl mit Recht — in den Hintergrund und wird fast nur noch bei Aufnahme von ganz undurchsichtigen Präparaten (von Metallen und dergl.) geübt.

Am einfachsten erhält man auffallendes Licht dadurch, daß die Lichtquelle, eine kleine Glühlampe, dicht oberhalb des Objekttisches befestigt wird. Natürlich darf man sich hierbei Objekt und Objektivsystem nicht durch die Wärmestrahlen verderben lassen. Um die Nähe der Lichtquelle zu vermeiden und auch eine möglichst kräftige Beleuchtung mit Sonnenlicht herbeiführen zu können, verwendete man Sammellinsen. MOITESSIER (a. a. O. S. 84) gibt hierfür eine besondere Konstruktion an, welche gestattet, das Licht in jeder beliebigen Richtung auf das Objekt zu werfen: Das Sonnenlicht wird durch einen Planspiegel auf eine achromatische Sammellinse von 30 cm Brennweite reflektiert. Die Linse läßt sich an einer senkrechten Stange auf- und abschieben. Ein an derselben Stange angebrachter, wagerechter, verschiebbarer Arm trägt einen kleinen, frei beweglichen Planspiegel, mittels dessen man das von der Sammellinse kommende Licht in beliebiger Richtung auf das Präparat wirft. Die mit dieser Beleuchtungsart gewonnenen Bilder erscheinen hell auf schwarzem Grunde und besitzen unangenehme Härte. Man vermeidet letztere, wenn man mittels eines kleinen, unter dem Objekttische befindlichen Spiegels mehr oder minder reichlich durchfallendes Licht hinzufügt; hierdurch kann man selbst ganz weißen Grund erhalten.

An Stelle des Sonnenlichtes verwenden E. W. CARLIER und G. MAN[1] Magnesiumbandlicht, welches mit Hilfe einer Sammellinse auf das Objekt geworfen wird. Damit die Flamme an derselben Stelle verbleibt, wird das Magnesiumband durch eine kurze Metallröhre vorgeschoben. Die beste Wirkung wurde erzielt, wenn der Winkel der auffallenden Lichtstrahlen gegen den Objekttisch etwa 40^{0} betrug.

Um bei auffallendem Licht die Schatten zu vermeiden, welche die Umrisse beeinträchtigen, legt H. HINTERBERGER[2] die undurchsichtigen Objekte (Samenkörner) auf eine Glasplatte und befestigt

[1]) Proc. Scottish Micr. Soc. 1893—1894 S. 115. Journal of the Royal Microscopical Society 1895 S. 110.

[2]) Wiener photographische Blätter 1895 S. 154.

in kurzem Abstande von derselben ein Stück weißen Papiers, um einen gleichmäßig weißen Grund zu erhalten. Marktanner[1] schlägt vor, an Stelle dieses weißen Papiers eine Milchglasscheibe zu verwenden, um nicht die Papierstruktur ins Bild zu bekommen. Da aber die ganz ohne Schlagschatten hergestellten Aufnahmen nicht vollkommen befriedigten, so wählte Hinterberger schließlich als Unterlage für die Samenkörner eine Opalglasplatte, die er (wie dies früher schon Moitessier getan hatte) von unten mittels des Spiegels etwas aufhellte. Überdies wurden die Schatten durch ein kleines, als Reflektor wirkendes Blechschirmchen gemildert.

Nachet[2] konstruierte einen besonderen mikrophotographischen Apparat für Beleuchtung mit auffallendem Licht, bei dem er den sogen. Lieberkühnschen Spiegel[3] verwendete: Die Kamera hat senkrechte Stellung, jedoch derart, daß sich der für die Aufnahme der matten Scheibe und der Kassette bestimmte Rahmen unten, das umgekehrte Mikroskop aber oben befindet. Das Objektiv ist in dem durchbohrten Lieberkühnschen Konkavspiegel angebracht, welch letzterer das von einem Planspiegel erhaltene Licht so reflektiert, daß die Strahlen das Objekt hell erleuchten. Das Präparat ruht auf zwei gläsernen Armen, welche das von dem Planspiegel kommende Licht nicht hindern, auf den Lieberkühnschen Spiegel zu fallen. Zur Einstellung auf der Visierscheibe dient ein schwach vergrößerndes Fernrohr, welches die Wand der Kamera durchbohrt.

Nach Moitessier hat die Beleuchtung durch den Lieberkühnschen Spiegel den Nachteil, daß von allen Seiten Licht auf das Objekt gelangt, was dem Bilde ein unnatürliches Aussehen gibt.

Einen eigenartigen Weg der Beleuchtung mit auffallendem Licht schlug Sorby[4] ein. Er brachte eine spiegelnde Glasplatte am Okularende des Tubus dergestalt an, daß grelles, auf diese Glasplatte fallendes Licht in den Tubus reflektiert wurde und zum Präparate gelangte.

Bei dem von Schmidt & Haensch[5] nach Angaben von Wedding konstruierten mikrophotographischen Apparate zum Photographieren

---

[1]) Eders Jahrbuch für 1896 S. 304.

[2]) Moitessier, a. a. O. S. 82.

[3]) Dieser Spiegel ist ursprünglich nicht von Lieberkühn, sondern von Leeuwenhoek angegeben worden (vergl. Harting, Das Mikroskop Bd. III S. 39).

[4]) Vergl. A. Martens: ‚Über die mikroskopische Untersuchung des Kleingefüges des Eisens‘, ‚Stahl und Eisen‘ 1889, No. 5.

[5]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. V, 1888, S. 225.

der Anlauffarben von Eisenflächen ist die spiegelnde Glasplatte zwischen Präparat und Objektiv verlegt. Durch diese Platte (ein unter dem Winkel von 45° gegen die Achse des Mikroskopes geneigtes, planparalleles Glas) hat man bei der Okularbeobachtung hindurchzuschauen. Auf die dem Objekte zugekehrte Seite der Glasplatte leitet man hellstes Licht, welches zum Teil auf das Objekt reflektiert wird. Selbstverständlich bedingt diese Methode außerordentliche Lichtverluste, da der größte Teil des auf die Glasplatte geworfenen Lichtes durch dieselbe hindurchtritt und überhaupt nicht auf das Objekt gelangt.

Alle bisher angeführten Methoden der Beleuchtung mit auffallendem Lichte (mit einziger Ausnahme der Methode von SORBY) sind nur beim Gebrauch von Objektiven mit großer Brennweite anwendbar. Bei starken Objektiven würde infolge des kurzen Abstandes von Objektiv und Präparat das Licht gehindert werden, auf das Präparat zu fallen; auch wäre es hier unmöglich, eine schräg gestellte Glasscheibe zwischen Präparat und Objektiv anzubringen.

42

Eine vorzügliche Methode zur Aufnahme undurchsichtiger Objekte (insbesondere zum Photographieren von Metallschliffen) ist durch MARTENS[1] zu hoher Vollkommenheit ausgebildet worden. Diese Methode lehnt sich an diejenige von SORBY an und gestattet Benutzung sowohl der stärksten, wie der schwächsten Objektive. An Stelle der planparallelen Glasplatte griff MARTENS zum total reflektierenden Prisma und brachte dasselbe nicht über dem Okular, sondern an einem viel günstigeren Platze an: unmittelbar über dem Objektiv. Der Strahlengang bei dieser Anordnung[2] wird durch Fig. 42 veranschaulicht: *T* ist der Tubus, *Z* das Zwischenstück, welches das total reflektierende Prisma *P* enthält und sich zwischen Tubus und Objektiv anschrauben läßt. Dies Zwischenstück besitzt an der Seite ein kleines Fenster (*a*) für den Eintritt der Strahlen. Der am Prisma reflektierte Strahl gelangt durch das Objektiv abwärts zum Präparat (*b*).

[1]) A. MARTENS, Die mikrophotographische Ausrüstung der kgl. mechanisch-technischen Versuchsanstalt zu Berlin: Mitteilungen aus den kgl. technischen Versuchsanstalten 1891 S. 278. Vergl. auch die Veröffentlichungen von MARTENS: ‚Stahl und Eisen‘ 1889, No. 5, 1892, No. 9, 1894, No. 17; ferner in GLASERS Annalen für Gewerbe und Bauwesen Bd. XXX, 1892, S. 201, und in: Transactions of the american institute of mining engineers 1893, August.

[2]) Objektive dieser Art erhielten den Namen „Vertikalilluminator“.

Die Abbildung wird nur durch die rechte, freibleibende Hälfte des Objektives besorgt, da die linke durch das Prisma verdeckt ist. Die Erfahrung lehrt, daß man mit dieser Vorrichtung vortreffliche Aufnahmen, selbst in stärksten Vergrößerungen, fertigen kann. Die Fassung des Prismas ist so eingerichtet, daß man letzteres nach Belieben etwas aus der Mitte herausrücken oder auch ganz beiseite schieben kann. Hierdurch ist die Möglichkeit gegeben, das Licht ein wenig schief zur optischen Achse einfallen zu lassen oder auch das Objektiv mit seiner vollen Öffnung für durchfallendes Licht zu benutzen. Ferner ist das Prisma mittels einer kleinen Handhabe um eine zu seinen Kanten parallele Achse innerhalb eines gewissen Spielraumes neigbar. Um die angemessene Einfallsrichtung der Strahlen herbeiführen zu können, ist das Zwischenstück um die optische Achse drehbar.

P

43

Fig. 43 veranschaulicht die Form, welche Zeiss neuerdings dem Vertikalilluminator gibt. Die Objekte dürfen, falls nicht homogene Immersion angewendet wird, nicht mit einem Deckglase bedeckt sein, weil das vom Deckglase reflektierte Licht das Bild verschleiert. Die Systeme müssen daher für unbedeckte Objekte korrigiert sein. Um hiermit schleierfreie Aufnahmen zu erzielen, hat man dafür Sorge zu tragen, daß höchstens soviel von dem Objekt beleuchtet wird, als die Okularblende zu übersehen gestattet. Diesen Zweck erreicht man, indem man vor dem Fenster des Vertikalilluminators eine Blende aufstellt, welche eine kreisförmige Öffnung von 15 bis 20 mm Durchmesser besitzt. Der Mittelpunkt dieser Öffnung soll in derselben Höhe liegen, wie das Fenster des Vertikalilluminators; der Abstand des Schirmes vom Fenster muß etwa 15 cm betragen. Unmittelbar hinter der Blende wird eine Linse von etwa 12 cm Brennweite angebracht. Sehr geeignet für diesen Zweck ist die Sammellinse mit Irisblende, welche auf S. 131 (Fußnote) beschrieben wurde. Die Lichtquelle (z. B. Auer-Licht) wird in 50 bis 60 cm Entfernung von letztgenannter Linse aufgestellt. Die von dem Prisma bedeckte Hälfte des Objektives entwirft dann ein verkleinertes Bildchen der hell erleuchteten Linsenöffnung nahezu in der Ebene, in welcher sich das scharf eingestellte Objekt befindet. Dieses Bildchen der Linsen-

öffnung beleuchtet gerade ein für die Beobachtung ausreichendes Stück der Objektebene. Unter Umständen wird man aber auch jetzt noch einen Teil des Sehfeldes von einem Lichtschein überdeckt finden. Man beseitigt denselben durch Einsteckblenden, welche durch einen Schlitz in das Gehäuse des Vertikalilluminators eingeführt werden.

Man kann den Vertikalillnminator an jedem Mikroskop verwenden. Auf Anregung von MARTENS konstruierte ZEISS aber ein besonderes Mikroskop, welches für Untersuchungen der genannten Art hervorragend geeignet ist. Es erwies sich als vorteilhaft, die Mikrometerbewegung an den Objekttisch zu verlegen, also auf die ursprünglichen Modelle der Mikroskopstative zurückzugreifen. Auf dem Objekttisch kann eine Vorrichtung angebracht werden, welche es gestattet, auch bei unregelmäßig geformten Stücken die abzubildende Ebene des Objektes senkrecht zur optischen Achse einzustellen. Der Tubus besitzt die ungewöhnliche Weite von 50 mm, um auch makroskopische Objektive verwenden zu können. An demselben ist ein Träger angebracht, an dem bei Benutzung langbrennweitiger Objektive ein dünnes Planglas, unter 45° gegen die Achse geneigt, zwischen Objekt und Objektiv sich befestigen läßt.

44

Bei dem Opakilluminator von LEITZ (Wetzlar), welcher denselben Zwecken, wie der Vertikalilluminator, dienen soll, werden die seitlich in den Tubus eintretenden Strahlen nicht durch ein Prisma, sondern durch eine um 45° gegen die Achse des Mikroskoptubus geneigte, planparallele Glasplatte abwärts zum Präparat geleitet. LEITZ greift also auf die alte Konstruktion von SORBY zurück; nur daß jetzt die Glasplatte nicht oben am Tubus, sondern in einem unmittelbar über dem Objektiv anzuschraubenden Zwischenstück angebracht wird.

Eine besondere Art der Beleuchtung mit auffallendem Licht ist die D u n k e l f e l d b e l e u c h t u n g, bei der die totale Reflexion der Strahlen an der Oberseite des Deckgläschen zur Beleuchtung des Präparates benutzt wird. Diese Beleuchtungsart ist von WENHAM[1] eingeführt. Derselbe befestigte mit Kanadabalsam an der Unterseite des Objektträgers *O* die Hypotenusenfläche eines rechtwinkligen Prismas *P* (Fig. 44).

[1]) Quarterly Journal of microsc. Sc. 1856, No. 16, Juli; Transactions S. 55.

Hat die ganze durchsichtige Masse vom Prisma bis zum Deckgläschen einen ziemlich gleichen Brechungsiudex, so wird ein Strahlenbündel, welches anf eine der dem rechten Winkel des Prismas angehörigen Seiten senkrecht fällt, an der Oberseite des Deckgläschens *D* totale Reflexion erleiden und das Objekt von oben her erleuchten. Um nicht nur von einer, sondern von allen Seiten Oberlicht auf das Präparat zu schicken, ersetzte Wenham später das Prisma durch eine parabolische Linse, deren abgeschliffene Spitze dnrch Kanadabalsam mit dem Objektträger verbunden und deren untere Fläche in der Mitte durch eine schwarze Scheibe bedeckt wurde. Auf diese Weise werden die zentralen Strahlen abgehalten, während die seitlich einfallenden im Deckgläschen totale Reflexion erleiden.

Nachet ersetzte die parabolische Linse Wenhams dnrch einen gläsernen Kegel, dessen dem Objekte zugekehrte Basis eine konvexe Linsenfläche bildet, welch letztere in ihrer Mitte durch schwarzen Firnis undnrchsichtig gemacht ist. Dieser Kegel wird, mit seiner abgestumpften Spitze nach abwärts gerichtet, an Stelle des Kondensors nnter dem Objekttisch befestigt.

Gegenwärtig bedient man sich znr Dunkelfeldbelenchtung für schwächere Objektive des Abbeschen Beleuchtungsapparates und hält die zentralen Lichtbündel, welche eine Erlenchtung des Präparates mit durchfallendem Licht herbeiführen würden, dnrch eine unter dem Kondensor angebrachte Zentralblende ab. Hierbei werden die seitlich einfallenden Strahlen, welche direkt in das Objektiv nicht eintreten können, auf der Oberfläche und im Innern eines stark lichtbrechenden Objektes reflektiert und lassen daher das Objekt hell erscheinen, während der Grund dnnkel bleibt.

Erscheint bei Anwendnng eines Objektives von geringer numerischer Apertur das auf angegebene Weise erlenchtete Objekt hell auf dunkelem Grunde, so schwindet, ohne daß man an dem Belenchtnngsapparat irgend etwas ändert, der eigentümliche Lichteffekt sofort, sobald man ein Objektiv von höherer Apertur an dem Tubus anschraubt; denn nnnmehr können schräg einfallende Strahlen, welche vorher in das Objektiv nicht eintraten, von letzterem anfgenommen werden; das Präparat erscheint daher in gewöhnlicher Weise hell auf hellem Grunde. Um hier die Dunkelfeldbeleuchtnng wieder herzustellen, müßte man entweder die sternförmige Zentralblende unter dem Kondensor durch eine größere ersetzen, oder die Apertur des Objektives dadurch verkleinern, daß man unmittelbar über der obersten Linse desselben kleine Blenden auflegt. Vorteilhaft ist es hierbei stets, Präparat und Kondensor durch einen Öltropfen zn verbindeu.

Um auch die stärksten Objektive, selbst Immersionen, für Dunkelfeldbeleuchtung benutzen zu können, wurden besondere, zentrale Blenden konstruiert (Zeiss, Leitz), welche oben in das Objektiv eingesteckt werden. Die Abblendung des beleuchtenden Strahlenkegels geschieht dann nicht durch eine Sternblende im Diaphragmenträger, sondern durch die gewöhnliche Irisblende.

Am günstigsten liegen die Verhältnisse, wenn man die zentrale Abblendung an der Frontlinse des Objektives vornimmt, weil dann die Reflexe im Linsensystem fortfallen, welche bei Abblendung oben im Objektiv unvermeidlich sind.

Durch gut ausgeführte Dunkelfeldbeleuchtung erhält man schärfere Differenzierung, als bei gewöhnlicher Beleuchtung und auch das Auflösungsvermögen des Objektives ist, wie bei jeder ringförmig abbildenden Öffnung, eine Kleinigkeit höher, als bei Benutzung der vollen Objektivöffnung.

Julius Rheinberg[1] hat eine Abänderung der Dunkelfeldbeleuchtung angegeben, welche gestattet, Diatomeen und andere stark lichtbrechende Objekte in beliebigen Farben auf anders gefärbtem Untergrunde erscheinen zu lassen: An Stelle der Zentralblende bringt man im Abbeschen Kondensor ein Scheibchen aus roter Gelatine an, das in der Mitte ein Loch besitzt, auf welchem ein gleichfalls rundes Scheibchen aus blauer Gelatine befestigt wird. Im Mikroskop erscheint nun das Objekt rot, der Untergrund blau. Statt Rot und Blau kann man auch beliebige andere Farben wählen. Nach den Untersuchungen des Verfassers[2] verfährt man hierbei am besten folgendermaßen: Die Größe der zentralen (blauen) Scheibe ist so zu wählen, daß sie den dritten Teil der freien Öffnung des Objektives ausfüllt. Man kontrolliert dies in bekannter Weise dadurch, daß man nach Herausnahme des Okulares in den Tubus hineinblickt. Die zentrale (blaue) Scheibe hat man mittels Asphaltlacks oder schwarzer Farbe mit einem so breiten, schwarzen Rande zu umgeben, daß durch denselben die freie Öffnung des Objektives genau ausgefüllt wird. Bei zu schmalem, schwarzen Rande würden auch von der peripheren (roten) Scheibe Strahlen direkt ins Objektiv treten und man würde einen aus Rot und Blau gemischten Untergrund erhalten. Der schwarze Rand darf aber auch nicht erheblich über die freie Öffnung des Objektives hinausragen, weil sonst die von der Oberfläche des Deckglases reflektierten Strahlen das Objekt nicht erreichen würden; das

[1]) Atelier des Photographen 1900, Heft 12, S. 203.
[2]) Photographische Rundschau 1901, Heft 1, S. 21.

Objekt würde dann nicht rot, sondern dunkel auf blauem Untergrunde erscheinen. Bohrt man durch farbiges Glas, Gelatine oder Celluloid ein Loch, umgibt dasselbe mit einem schwarzen Kreise und läßt die zentrale, farbige Scheibe ganz fort, so erscheinen die Objekte gefärbt auf weißem Grunde.

Dunkelfeldbeleuchtung ist natürlich nicht auf Objekte anwendbar, welche, wie die Metallschliffe, eine zusammenhängende, undurchsichtige Schicht bilden. Zum Zustandekommen der Dunkelfeldbeleuchtung müssen die Strahlen von unten in das Präparat dringen.

Über die ganz eigenartige Dunkelfeldbeleuchtung, welche angewendet wird, um ultramikroskopische Teilchen sichtbar zu machen, welche sonst unterhalb der Grenze der Wahrnehmbarkeit selbst unserer stärksten Immersionen liegen, werden wir in Abschnitt V, 3 ausführlich sprechen.

Fünfter Abschnitt

Vorrichtungen für besondere Zwecke

1. Apparate für Lupenvergrößerungen

Lupenvergrößerungen lassen sich mit jedem guten, mikrophotographischen Apparate herstellen. Häufig werden hier jedoch so hohe Anforderungen an die Größe des Gesichtsfeldes gestellt, daß ein Apparat, welcher Aufnahmen dieser Art ermöglicht, dann für Verwendung stärkerer Objektive kaum noch benutzbar bleibt. Nicht wenige Anatomen, Botaniker usw. sind auch ausschließlich auf Lupenvergrößerungen angewiesen; die kostspieligen Apparate für stärkere Vergrößerungen haben für sie also keinen Zweck. Aus diesem Grunde werden brauchbare, mit mäßigen Kosten zu beschaffende Vorrichtungen für Lupenvergrößerungen immer ihre Abnehmer finden. Wir wollen einige bemerkenswerte Typen derselben kurz beschreiben.

Prof. His[1] konstruierte einen Apparat zum Photographieren embryonaler Schnittreihen (Fig. 45). Da es sich hier nur um 10- bis 15fache Linearvergrößerung handelt, kommen sämtliche Schnitte eines Objektträgers gleichzeitig zur Reproduktion. Eine auf zwei Füßen ruhende Zahnstange trägt an ihrem vorderen Ende eine Platte mit dem photographischen Objektiv; eine zweite durch Trieb bewegliche und mit zentraler Öffnung versehene Platte dient als Objektträger; sie ist durch einen Balg mit der ersteren verbunden. Als Lichtquelle dient ein längs der Zahnstange verschiebbarer Brenner, dessen Strahlen durch eine Doppellinse von 11,5 cm Durchmesser und 8 cm gemeinsamer Brennweite gesammelt und dem Objekte zugeführt werden. Zur Vermeidung störender Lichtreflexe ist der Apparat mit einem

[1]) Archiv für Anatomie und Physiologie, Anatomische Abteilung 1887 S. 174. — Festschrift Albert Kölliker zum 26. März 1892. Leipzig 1892, Vogel.

Blechgehäuse umgeben, an welchem eine breite Klappe angebracht ist, um den einzelnen Teilen von der Seite her beizukommen. Als Objektiv benutzt His einen Steinheilschen Antiplanet von 12 cm Brennweite, oder einen Aplanat derselben Fabrik von 14 cm. — Letzteres System, etwas lichtschwächer als das erstere, hat den Vorzug einer nicht allein korrekten, sondern auch sehr gleichmäßig scharfen Zeichnung. Bildgröße und Bildabstand bewegen sich unter den gegebenen Verhältnissen innerhalb weiter Grenzen, und die Anwendung einer gewöhnlichen, photographischen Kamera wird daher unbequem.

45

His benutzt die Wand der Dunkelkammer als Aufnahmefläche. Zu dem Zweck teilt er die Dunkelkammer durch eine mit Tür und Schieber versehene Wand in zwei Hälften. Die vordere Wand enthält den Projektionsapparat; an der Rückwand der hinteren Kammer befindet sich die Bildfläche. Durch den beweglichen Schieber in der Zwischenwand bestimmt man den Beginn und den Schluß der Belichtung. Der Projektionsapparat ruht auf einem Brett und kann mittels Führung auf einem Holzgestell hin- und hergleiten. Die grobe Einstellung für eine bestimmte Vergrößerung geschieht durch Verschiebung des den Apparat tragenden Brettes; überdies dient zur Einstellung die den Objektträger bewegende Schraube. Die feinste Regulierung der Bild-

schärfe wird bewirkt durch Drehen des Objektives innerhalb einer mit engem Schraubengewinde versehenen Hülse. Einmalige scharfe Einstellung des Bildes genügt, um eine Reihe von Aufnahmen hintereinander zu machen; es ist daher auch am besten, die derselben Schnittreihe angehörigen Bilder hintereinander zu photographieren, ohne an dem einmal eingestellten Apparate etwas zu verändern. Eine weitere Bequemlichkeit der ganzen Einrichtung liegt darin, daß man nur einmal die Zeit der Belichtung auszuprobieren hat. His projiziert das Bild auf Bromsilberpapier, welches er mittels einiger Heftstifte oder in einem großen Kopierrahmen an der Wand der Dunkelkammer befestigt. Die Zeit der Belichtung wechselt nach der gewählten Vergrößerung und der angewandten Blende. Mit dem Steinheilschen Aplanat und mit Blende IV verlangt beispielsweise eine zehnmalige Vergrößerung eine Belichtung von 6 bis 8 Minuten. Der durch stärkere Belichtung erreichbare dunklere Grund sieht im allgemeinen eleganter aus, als der graue Ton schwächer belichteter Aufnahmen; indessen gehen bei kräftigerer Belichtung leicht die feineren Einzelheiten verloren. Die Bilder sind natürlich negativ, das heißt, die Schnitte erscheinen hell auf dunkelem Grunde. Dies ist für die allgemeine Formbeurteilung sowie für Messungen völlig gleichgültig. Will man Positivbilder haben, so sind solche leicht erhältlich, denn das Papier ist auch in ungeöltem Zustande hinreichend durchsichtig, um Kopieren zu gestatten. Der Vorteil, den man hat, wenn man die Blätter mit den Schnittbildern nebeneinander legen und somit große Reihen auf einmal übersehen kann, ist hoch anzuschlagen. Besonders wird ein solches Material für Rekonstruktionen jeder Art unschätzbar.

Der Apparat für Lupenvergrößerung von Winkel in Göttingen, bei dem die trefflichen Mikroluminare zu benutzen sind, besteht aus einer Vorrichtung, welche in das Stirnbrett der Kamera eingeschoben wird. Der Objekttisch läßt sich zur groben Einstellung an einer Stange vor- und rückwärts schieben. Das Luminar wird in einen 5 cm weiten Tubus eingeschraubt und ist zur Feineinstellung mit Schneckengang versehen. Für jedes Luminar dient eine besondere Beleuchtungslinse.

Für diejenigen, welche ihre Präparate teils zeichnen, teils photographieren wollen, ist die von Leitz (Wetzlar) in den Handel gebrachte Edinger-Niesersche Kamera (Fig. 46) empfehlenswert. Dieselbe ging aus dem Edingerschen Zeichenapparat hervor. Die Beleuchtung des aufzunehmenden Präparates geschieht von oben. Als Objektive werden nur solche von 20 bis 100 mm Brennweite

verwendet. Die Verschiebbarkeit des Holzstativs gestattet beträchtliche Änderungen in der Vergrößerung mit demselben Objektiv. Unmittelbar über dem Grundbrette wird die Kassette eingeschoben.

46

Will man den Apparat zum Zeichnen benutzen, so entfernt man die Kamera und legt das Zeichenpapier auf das Grundbrett. In jüngster Zeit hat Leitz diese Kamera so ausgestaltet, daß sie auch für starke Objektivvergrößerungen verwendbar ist.

Bei dem Apparat für Lupenvergrößernng von Fuess[1] (Steglitz bei Berlin) ist der Objekttisch durch Zahn und Trieb in der Höhe verstellbar. Auf einem eigens hierfür hergerichteten Stativ wird ein kurzer Tubus anfgesetzt, welcher an seinem oberen Ende die kleine Kassette trägt.

Der Apparat für Lupenvergrößerung von Wandolleck[2] ist hauptsächlich für die Aufnahme von Insekten, Kristallen und solchen undurchsichtigen Präparaten bestimmt, bei denen es darauf ankommt, das Präparat zum Zwecke der vorteilhaftesten Beleuchtung in eine ganz bestimmte Lage zu bringen. Das Wesentliche bei der Einrichtung ist der auf besonderem Stativ montierte Objekttisch. Der in der Mitte des senkrecht stehenden Objekttisches befindliche Objekthalter gestattet durch Zahn und Trieb Bewegung nach allen Seiten hin, und zwar lassen sich diese Bewegungen ausführen, während der Beobachter das Bild auf der matten Scheibe kontrolliert. Zu dem Zwecke laufen vom Objekttische aus längs der Kamera bis zur Visierscheibe drei Transportspiralen, deren Drehung auch die Drehung der am Objekttische angebrachten Triebe zur Folge hat. Sieht man also z. B. auf der Visierscheibe, daß der zur Aufnahme bestimmte Kopf eines Insektes sich nicht in günstiger Stellung und Beleuchtung befindet, so braucht man nur die Transportspiralen zu drehen, um eine günstigere Lage des Objektes herbeizuführen. Zur Aufnahme wird eine einfache, horizontale Balgenkamera von $1^1/_2$ m Länge benutzt, an deren vorderen Ende man das Objektiv (50 bis 100 mm Brennweite) befestigt. Der Objekttisch mit Zubehör wird von der Firma Gast & Engelmann in Dresden hergestellt.

Handelt es sich um Lupenvergrößerung von Bakterienkolonien auf Kulturschalen, so kann die Befestigung dieser Schalen auf dem Objekttisch und die Einstellung irgendeiner peripher gelegenen Kolonie schwierig werden. Zeiss konstruiert daher auf Anregung von Dr. W. Gebhardt[3] einen besonderen Träger für derartige Schalen, welcher gestattet, Schalen verschiedener Größe auf dem Objekttische sicher zu befestigen und jeden Abschnitt der Schale in jede gewünschte Stellung zu bringen.

---

[1]) Zeitschrift für angewandte Mikroskopie Bd. III, 1897, Heft 2.
[2]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. XVIII, 1901, S. 1.
[3]) Ebenda Bd. XV, 1898, S. 155.

2. Apparate zur Aufnahme bei besonders hohen oder niedrigen Temperaturen

Kommt es darauf an, Präparate bei Temperaturen aufzunehmen, welche von der Wärme der umgebenden Luft erheblich abweichen, so benutzt man als Objektträger einen nach dem LEYBOLDschen Verfahren zusammengekitteten Glaskasten, der mit Thermometer, Zu- und Abflußrohr für das erwärmte oder durch Eis gekühlte Wasser versehen ist. Den gleichen Zweck erfüllt der Kühler nach ZOTH[1], welcher auch dort ausgezeichnete Dienste leistet, wo es darauf ankommt, ein empfindliches Präparat vor den Strahlen einer ungewöhnlich heißen Lichtquelle (elektrisches Bogenlicht) zu schützen. Wegen der Dicke dieser Kühl- oder Heizvorrichtung (6 mm) sind die gewöhnlichen ABBEschen Kondensoren hierbei nicht verwendbar. ZEISS konstruierte daher für den ZOTHschen Kühler einen besonderen zentrierbaren, achromatischen Kondensor mit einer num. Apertur, der hinreichend großen Fokalabstand besitzt.

Bei dem Heizschrank nach L. PFEIFFER wird das ganze Mikroskop in einen Heizschrank gestellt. Die Heizung erfolgt durch Erwärmung der Platte von unten mittels eines sogenannten Mikrobrenners. Erwärmungen bis zu 45° C. können hiermit ohne Schaden für Stativ und Objektive vorgenommen werden. Entsprechend konstruiert ist der von C. REICHERT (Wien) hergestellte Gefrierapparat nach Prof. MOLISCH[2], bei dem sich Kältetemperaturen bis zu — 10° C. erzielen lassen. Das Mikroskop steht im Innern eines doppelwandigen Kastens. Der Raum zwischen den doppelten Wänden wird durch die Kältemischung angefüllt.

Es machte sich auch das Bedürfnis geltend, mikroskopische Untersuchungen und Aufnahmen mit sehr hohen Temperaturen auszuführen. Bei seinen Arbeiten über flüssige Kristalle bedurfte Prof. O. LEHMANN (Karlsruhe) Temperaturen bis zu 800° C. Prof. DÖLTER (Graz) arbeitete bei seinen mikrophotographischen Aufnahmen geschmolzener Körper sogar mit Temperaturen bis zu 1400° C. Um diesen Anforderungen zu genügen, baute ZEISS[3] besondere Heiz- und Kühlvorrichtungen, die sich an jedem guten Mikroskop anbringen lassen.

[1] Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. X, 1893, S. 152.
[2] Prof. MOLISCH, Untersuchungen über das Einfrieren der Pflanzen. Jena 1897.
[3] Zeitschrift für Elektrochemie 1906, No. 32, S. 593.

Für Temperaturen bis etwa 700 bis 800° C. dient der Gasheizkondensor, der an Stelle des gewöhnlichen Kondensors in die Schiebhülse des Abbeschen Beleuchtungsapparates unter dem Mikroskoptisch eingeschoben wird. Die Erwärmung des Präparates geschieht durch ein über der Kondensorlinse angebrachtes Gasflämmchen. Bei Temperaturen über 200° C. muß das Objektiv durch Eiswasser gekühlt werden. Diesem Zwecke dient eine an demselben angebrachte Wasserkühlvorrichtung. Da es sich bei Arbeiten dieser Art vorwiegend um Untersuchungen in polarisiertem Lichte handelt, so ist der Gasheizkondensor mit einem Polarisator ausgestattet.

Bei Benutzung einer für lange Zeit gleichmäßigen, hohen Temperatur wirkt man zweckmäßigerweise der Heizwirkung des Brenners unter dem Präparate durch Abkühlung von oben entgegen. Dies geschieht mit der Luftkühlvorrichtung, welche aus zwei kleinen Röhren Luft auf die Oberseite des Präparates bläst. Hierdurch kann man in der Mitte des Gesichtsfeldes jede gewünschte Temperatur für lange Zeit gleichmäßig erhalten. Zum Anflegen der zu erhitzenden Präparate werden Tische mit Spitzen benutzt. Handelt es sich um mikrophotographische Aufnahme von Präparaten dieser Art, so ist es vorteilhaft, ein besonderes Mikroskopstativ zu verwenden, welches Zeiss für diese Zwecke baut. Da nämlich die flüssigen Kristalle zum Teil in lebhafter Bewegung begriffen sind, so ist es wünschenswert, das Präparat bis zum Augenblicke der Aufnahme zu beobachten. Hierfür wird in den Mikroskoptubus ein Rohr eingeschaltet, welches eine unter 45° zum Strahlengang geneigte Planparallelplatte enthält, die ihr Licht auf ein seitlich angebrachtes Rohr wirft, durch welches man das Präparat beobachtet. Mit Hilfe dieser Vorrichtung fertigte Siedentopf (Jena) wundervolle Momentaufnahmen ($^1/_{100}$ Sekunde) der in lebhafter Bewegung befindlichen, flüssigen Kristalle von Parazoxyzimtsäureäthylester in tausendfacher Linearvergrößerung.

Handelt es sich um Aufnahme geschmolzener Körper, wobei eine Temperatur bis zu 1400° C. benötigt wird, so reicht der Gasheizkondensor nicht aus. Die Körper (z. B. Silikate) werden dann in Quarzgefäßen in einem kleinen elektrischen Ofen geschmolzen.

Die Temperaturmessung bei all diesen Vorrichtungen geschieht mittels kurzer, geaichter Thermoelemente.

---

3. Vorrichtungen zur Sichtbarmachung ultramikroskopischer Teilchen

Der Abbildung kleinster mikroskopischer Teilchen ist eine Grenze gesetzt durch die erreichbare Apertur der Objektive (vorläufig nicht über 1,60) und die kleinste, benutzbare Wellenlänge des Lichtes (vorläufig nicht unter $\lambda = 275$). In den Abschnitten über die Objektive und über die Beleuchtung haben wir hierüber eingehend gesprochen. Etwa der zehntausendste Teil eines Millimeters läßt sich mit den besten Hilfsmitteln noch erkennen. Um Moleküle oder gar Atome abzubilden, müßte die Leistungsfähigkeit der Mikroskope mindestens um das 100fache gesteigert werden.

Auch hier war es wiederum die Firma Zeiss, die in unermüdlicher Arbeit das nie Gehoffte möglich machte: die Sichtbarmachung von Partikelchen, deren Größe ungefähr den Molekularkomplexen von Eiweiß, Kartoffelstärke usw. entspricht.

Man nennt Teilchen dieser Art „ultramikroskopische", weil ihre Abbildung im Mikroskop nicht möglich ist. Wohlgemerkt muß man hier zwischen „Abbildung" und „Sichtbarmachung" unterscheiden. Die objektähnliche Abbildung geschieht nur, wenn das Objekt nicht unter eine Größe hinabsinkt, welche in der Formel $e = \frac{\lambda}{2a}$ (S. 82) ihren Ausdruck findet. Nun hat aber das Licht die Eigenschaft, daß es beim Vorbeistreichen am Rande kleiner Partikelchen nach allen Seiten hin abgebeugt wird und daß infolgedessen an den Partikelchen Lichterscheinungen auftreten, welche den Eindruck machen, als ob das Partikelchen selbstleuchtend ist. Diese Lichterscheinungen entstehen auch, wenn der Strahl auf Partikelchen trifft, die weit unterhalb der Grenze der Abbildungsfähigkeit sich befinden; sie zeigen also das Vorhandensein von Partikelchen an, welche wegen ihrer (ultramikroskopischen) Kleinheit auf keine andere Weise sichtbar zu machen sind. Es handelt sich daher im wahrsten Sinne des Wortes um „Sichtbarmachung" und nicht um „Abbildung", denn von dem eigentlichen Aussehen des Partikelchens erfahren wir nichts.

Je intensiver das hierbei angewendete Licht ist, um so kleinere Partikelchen werden sichtbar gemacht. Deshalb erzielt man die besten Resultate mit Sonnenlicht, welches mindestens zehnmal intensiver ist, als das kräftigste Bogenlicht. Die Intensität des Sonnenlichtes reicht aus, um Partikelchen von der Ausdehnung größerer Molekularkomplexe (z. B. Eiweiß, Kartoffelstärke) sichtbar zu machen. Sollte es gelingen,

ein noch sehr viel intensiveres Licht zu erzeugen, so werden sich auch die Atome fernerhin unseren Augen nicht mehr entziehen können.

Die Herren Siedentopf und Zsigmondy[1], wissenschaftliche Mitarbeiter von Zeiss, haben das Verdienst, die Methode der Sichtbarmachung ausgearbeitet und den hierbei anzuwendenden Apparaten eine praktisch brauchbare Form gegeben zu haben.

Da die Intensität des beleuchtenden Strahles wesentlich höher ist, als diejenige der genannten Lichterscheinungen, so wird es zur Sichtbarmachung dieser Lichterscheinungen notwendig, die Beleuchtung so anzuordnen, daß von den beleuchtenden Strahlen nichts ins Auge gelangt. Wir sind also bei der Dunkelfeldbeleuchtung angelangt.

47

Die übliche Anordnung derselben (S. 148) ist hier jedoch schwer verwendbar, weil durch das ungemein intensive Licht eine Unzahl von Reflexen an den zahlreichen Linsenflächen des Kondensors und Mikroskopobjektives entsteht. Man trifft also die Anordnung so, daß die Achse des Beleuchtungkegels senkrecht steht auf der Achse des Mikroskops.

Fig. 47 veranschaulicht die Anordnung, wie sie zur Sichtbarmachung ultramikroskopischer Teilchen in Flüssigkeiten am günstigsten ist: Die Bogenlampe, oder noch besser der auf die Sonne gerichtete Spiegel sendet das Licht auf ein kleines Projektionsobjektiv *f*, welches seinerseits ein scharfes Bild der Lichtquelle auf dem Präzisionsspaltkopf *g* entwirft. Bei *h* befindet sich ein zweites Projektionsobjektiv,

[1]) Annalen der Physik 1903, Bd. X.

welches ein verkleinertes Bild des Spaltes in der Bildebene des an Stelle des Kondensors zur Beleuchtung dienden Mikroskopobjektives *AA* von Zeiss entwirft. Unmittelbar unterhalb der zur Beobachtung benutzten Wasserimmersion wird ein kleines, mit zwei Fenstern (je eins für das zur Beleuchtung und zur Beobachtung dienende Objektiv) versehenes Röhrchen angebracht, in welches man durch einen Trichter die zu untersuchende Flüssigkeit einfüllt.

Will man eine Aufnahme machen, so muß dies natürlich mit senkrechter Kamera geschehen. Da, wie oben auseinandergesetzt, Aufnahmen dieser Art kein Abbild des Partikelchens geben können, so haben sie eigentlich nur Zweck, wenn man durch irgendeins der gebräuchlichen Farbenverfahren die Farbe des Partikelchens wiedergibt. Jedes Partikelchen (z. B. von Farbstofflösungen) erscheint nämlich auf dunkelem Grunde intensiv leuchtend in seiner Eigenfarbe.

Vorläufig stoßen allerdings Aufnahmen dieser Art auf beinahe unüberwindliche Schwierigkeiten, weil noch alle Farbenverfahren, sowohl die direkten, wie die indirekten, ihre großen Mängel haben. Überdies sind die Partikelchen in der Flüssigkeit stets in Bewegung begriffen. Man könnte also nur Momentaufnahmen machen. Zeitaufnahmen sind nur möglich, wenn man bei derselben Anordnung feste, durchsichtige Körper, z. B. Gläser prüft.

Bei Untersuchung ultramikroskopischer Bakterien zwischen Objektträger und Deckglas ist man gezwungen, die bei der Dunkelfeldbeleuchtung übliche Anordnung zu treffen; doch ist dabei möglichste Beseitigung der Reflexe anzustreben. Das Mikroskop wird also umgelegt, so daß die Strahlen der Sonne oder der elektrischen Bogenlampe unmittelbar, ohne Zwischenschaltung eines Spaltes oder sonstiger Beleuchtungslinsen, auf die Unterseite des Kondensors fallen. Als Kondensor benutzt man ein eigens für diese Zwecke hergestelltes Spezialobjektiv mit Zentriervorrichtung und Apertur 0,2. Als Beobachtungsobjekt dient ein Apochromat 2 mm Brennweite, 1,30 num. Apertur, bei dem die Dunkelfeldblende dadurch hergestellt ist, daß die Frontlinse in ihrem mittleren Teile bis zur Apertur 0,3 genau abgeschliffen und die dabei entstehende Planfläche geschwärzt wurde. In dies Objektiv treten also nur Strahlen von Apertur 0,3 bis 1,3 ein und der Entstehung von Reflexen ist, soweit dies überhaupt angeht, vorgebeugt.

Zeiss baute auch einen Heizapparat für Beobachtung ultramikroskopischer Teilchen bei höheren Temperaturen.

4. Vorrichtung zur Aufnahme mit ultraviolettem Licht

In den Abschnitten über Objektive, Okulare, Lichtquellen und Beleuchtung sprachen wir wiederholt über die von KÖHLER[1] eingeführte Methode der Aufnahme mit ultraviolettem Licht. Bei der großen Wichtigkeit dieser Methode, deren Bedeutung für die Abbildung kleinster, mikroskopischer Teilchen nicht hoch genug zu veranschlagen ist, wollen wir eine kurze Gesamtdarstellung der Methode geben, selbst auf die Gefahr hin, manches zu wiederholen, was in früheren Kapiteln bereits erwähnt wurde.

Wie früher auseinandergesetzt, ist das Abbildungsvermögen des Mikroskops abhängig von der num. Apertur des Objektives und der Wellenlänge des zur Beleuchtung verwendeten Lichtes. Erstere läßt sich nicht beliebig steigern; eine Apertur von 1,60 bildet gegenwärtig die höchsterreichbare Grenze; für gewöhnlich kann man sogar über 1,40 nicht hinausgehen. Licht, welches kürzere Wellenlänge als ungefähr $\lambda = 400$ (äußerstes Violett) hat, war bisher nicht benutzbar, weil die Objektive hierfür nicht ausreichend korrigiert sind.

Um die Leistungsfähigkeit der Mikroskope zu steigern, blieb unter den gegebenen Verhältnissen nichts weiter übrig, als die Nutzbarmachung von ultraviolettem Licht. Hierbei gab es jedoch ungeheure Schwierigkeiten zu überwinden, die wir kurz skizzieren wollen.

Ultraviolettes Licht ist dem Auge nicht sichtbar; man bleibt also lediglich auf die photographische Platte angewiesen und muß beim Einstellen buchstäblich im dunkeln tappen.

Ultraviolettes Licht wird aber auch von Glas nicht hindurchgelassen. Man war also gezwungen, für den Beleuchtungsapparat, die Objektive und Okulare zu einem anderen Stoffe (Bergkristall) zu greifen, welcher selbst die kurzwelligsten Strahlen ungehindert hindurchtreten läßt.

Zur Korrektur der allen Linsen anhaftenden Fehler wählt man bekanntlich Glassorten, welche verschiedene, zum Teil entgegengesetzte Eigenschaften haben. Da man nun bei den vorzunehmenden Neukonstruktionen nur einen einzigen Stoff (Bergkristall) zur Verfügung hatte, mußten zuvor ganz neue Wege zur Ausmerzung der Linsenfehler aufgefunden werden.

Die photographisch verwertbare Zone des ultravioletten Lichtes

[1]) Zeitschrift für wissenschaftl. Mikroskopie Bd. XXI, 1904, S. 129—165 u. S. 273—304.

ist sehr breit; sie reicht von der Grenze des Violett ($\lambda = 397$) ungefähr bis $\lambda = 100$ (Dr. V. Schumann). Doch sind die kleinsten Werte praktisch nicht mehr benutzbar, weil man im luftleeren Raume arbeiten muß; denn selbst die Luft ist für Wellenlängen unter $\lambda = 200$ ein Hindernis. Auf jeden Fall mußte aus der ultravioletten Zone ein Bezirk gewählt werden, der im engsten Raume hervorragende Intensität besitzt. Die Benutzung eines breiten Spektralbezirks blieb von vornherein ausgeschlossen, weil dann eine chromatische Korrektion der Objektive nicht zu erreichen gewesen wäre.

All diese Schwierigkeiten glänzend überwunden zu haben ist das Verdienst von Dr. August Köhler und Dr. v. Rohr in Jena.

Den Anforderungen in bezug auf Intensität des Lichtes und enge Begrenzung der Wellenlänge entspricht die Liniengruppe des zwischen Magnesiumdrähten überspringenden Funkens ($\lambda = 280$) und die Linie, welche durch den zwischen Kadmiumdrähten überspringenden Funken ($\lambda = 275$) gebildet wird. Die Magnesiumlinie ist die intensivere; aber sie ist nicht so einheitlich wie die Kadmiumlinie, besteht vielmehr aus mehreren nahe beieinander liegenden Linien. Bei der Kadmiumlinie ist fernerhin die kürzere Wellenlänge von Vorteil. Über die Erzeugung dieser Funken sprachen wir auf Seite 94. Kommt es auf möglichst kurze Belichtung an, so wird man also den Magnesiumfunken benutzen, während das beste Bild der Kadmiumfunke liefert. Bei letzterem ist das Prinzip des einfarbigen Lichtes am strengsten gewahrt. Da der Magnesiumfunke aus mehreren Linien besteht, so bewirkt er, daß das Objektiv (infolge Abwesenheit einer chromatischen Korrektion) verschiedene, von den einzelnen Linien der Gruppe herrührende Bilder in merklich voneinander getrennten Ebenen erzeugt. Daher ist hier die Schärfentiefe ungewöhnlich groß, eine bei histologischen Aufnahmen schätzenswerte Eigenschaft. Freilich ist aus demselben Grunde das Gesamtbild nicht so scharf, wie das von der Kadmiumlinie erzeugte.

Das Funkenbild trifft zunächst auf eine Sammellinse aus Bergkristall, den Kollimator, welcher die Strahlen parallel macht und durch zwei Bergkristallprismen hindurchschickt. Nach dem Austritt aus letzteren passieren die Strahlen wiederum eine Bergkristallinse, den Kollektor, welche sie auf ein total reflektierendes Bergkristallprisma leitet. Letzteres befindet sich unter Hufeisenfuß des Mikroskops (Fig. 48) und leitet die Strahlen auf den unter dem Objekttische befindlichen Quarzkondensor. Bei der Beleuchtung wird also dasselbe Prinzip befolgt, welches wir auf Seite 66 (Verfahren von Dr. August Köhler) beschrieben haben. Auch Objektträger und Deckglas bestehen

St

Sch

K

J

E

Z

H

S_2

B

D

678

Sp

S_1 P

aus Bergkristall. Die Linsen des Objektives sind aus geschmolzenem Bergkristall geschliffen, ebenso diejenigen des Okulares. (Über den Kondensor genaueres auf S. 121, über die Objektive auf S. 50 und über die Okulare auf S. 61.)

Der in Fig. 48 zur Seite geschlagene Blendenträger des Abbeschen Kondensors ist zur Aufnahme einer Uranglasplatte bestimmt, welche dazu dient, die Lage und Größe des vom Kollektor entworfenen Funkenbildes zu kontrollieren. Durch ultraviolette Strahlen wird bekanntlich Uranglas zum Fluoreszieren gebracht; die dem Auge unsichtbaren, ultravioletten Strahlen werden hierdurch in sichtbare umgesetzt. Nach vollzogener Regulierung ist dieser Blendenträger mit der Uranglasplatte beiseite zu schieben, damit die ultravioletten Strahlen ins Mikroskop gelangen können.

Für alle Aufnahmen muß dieselbe Kameralänge innegehalten werden. Die verschiedenen Vergrößerungen erzielt man bei den verschiedenen Objektiven dadurch, daß man fünf Quarzokulare zur Verfügung hat. Das Einstellen geschieht mit einem Okular, welches durch die ultravioletten Strahlen in Fluoreszenz gebracht wird (Fluoreszenzokular), wodurch das Bild dem Auge sichtbar wird. Letzteres Okular ist mit den Quarzokularen so abgestimmt, daß durch das Quarzokular auf der Visierscheibe ein (dem Auge unsichtbares) scharfes Bild entworfen wird, wenn man durch das Fluoreszenzokular das Bild scharf sieht. Die hierbei notwendig werdende Auswechslung des Quarzokulars gegen das Fluoreszenzokular ist bei den stärksten Objektiven nicht ausführbar, weil trotz größter Vorsicht eine Änderung der Scharfeinstellung eintreten würde. Deshalb konstruierte Zeiss einen Sucher, welcher zur Beobachtung des Präparates über das Quarzokular gebracht und nachher zum Zweck der Aufnahme beiseite geklappt wird (*E* in Fig. 48). Bei dieser Methode ist jegliches Herausnehmen aus dem Tubus vermieden. Erblickt das Auge mittels des Suchers das Präparat scharf, so ist auch das unsichtbare Bild auf der Mattscheibe scharf, sobald man den Sucher beiseite geschoben hat. Kommt es bei feinsten Objekten auf genaueste Einstellung an, so benutzt man eine eigens hierfür konstruierte Schiebekassette, mit deren Hilfe man vier Aufnahmen mit etwas abweichenden Einstellungen fertigt. Während man mit dem Sucher beobachtet, ist die Kamera (durch Drehung um die Säule des Stativs, in derselben Weise, wie der Sucher *E* in Fig. 48) beiseite geklappt. Durch ultraviolettes Licht werden viele Präparate in Fluoreszenz versetzt und dadurch dem Auge sichtbar. Doch ist dies eine keineswegs erwünschte Erscheinung. Bei der Konstruktion des Suchers mußte

man sorgfältig darauf Bedacht nehmen, das Fluoreszenzlicht beim Einstellen unschädlich zu machen. Dies störende, direkte Bild ist nämlich sehr mangelhaft, weil die Monochromate nicht für solche Strahlen korrigiert sind, welche das Auge wahrnimmt.

Durch die beschriebene Methode wird nicht nur das Auflösungsvermögen unserer Mikroskope erheblich gesteigert; das ultraviolette Licht übt noch eine andre, unerwartete Wirkung aus: Organische Gewebe zeigen nämlich diesem Lichte gegenüber verschiedene Absorptionsfähigkeit. Dies hat zur Folge, daß ungefärbte Präparate im Photogramm den Eindruck machen, als ob künstliche Färbungen, welche die verschiedenen Gewebselemente deutlicher hervortreten lassen, angewendet sind.

Leider werden die sehr hohen Kosten der allgemeineren Einführung des Photographierens mit ultraviolettem Licht dauernd ein Hindernis entgegensetzen. Notwendig ist nicht nur ein großer Induktor und das Vorhandensein einer ausgiebigen Elektrizitätsquelle; auch der ganz eigenartige, aus besondern Materialien herzustellende Beleuchtungsapparat, die Objektive, Okulare usw. müssen eigens für diese Zwecke angeschafft werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Herstellung des zur Verwendung kommenden, geschmolzenen Quarzes große technische Schwierigkeiten bereitet, und daß der reinste Bergkristall, wie er hier ausschließlich benutzbar ist, nicht in beliebigen Mengen zur Verfügung steht.

5. Vorrichtungen zu Augenblicks- und Reihenaufnahmen

Um mikroskopisch kleine, bewegliche Lebewesen, wie schwimmende Spermatozoën, Infusorien und Bakterien zu photographieren, bedarf man besonderer Vorrichtungen. Voraussetzung ist hierbei immer die Verwendung eines so kräftigen Lichtes, daß Bruchteile von Sekunden ausreichen, um die Platte durchzuexponieren.

Bertsch[1], einer der ersten, die sich überhaupt mit Mikrophotographie beschäftigten, schlägt vor, zwischen Lichtquelle und Objekt folgenden Momentverschluß anzubringen: Eine kreisrunde Scheibe von geschwärztem Messing trägt an ihrem Rande eine mehrere Quadrat-

[1]) Moitessier, a. a. O. S. 290.

zentimeter große, runde Öffnung. In ihrem Zeutrum ist die Scheibe von einer Achse durchbohrt, welche auf der einen Seite in einer Federkapsel steckt. Die in der Kapsel befindliche Feder wird durch einmalige Drehung der Scheibe gespannt und läßt bei Druck auf einen Abzug die Scheibe eine Drehung in entgegengesetzter Richtung ausführen. Stellt man diese Vorrichtung so zwischen Lichtquelle und Objekt auf, daß letzteres verdunkelt ist, und läßt dann die Scheibe durch Entspannen der Feder sich schnell um ihre Achse drehen, so fällt während einer sehr kurzen Zeit durch die Öffnung in der Scheibe Licht auf das Objekt.

Benecke[1] nimmt an diesem Momentverschluß eine Abänderung vor, um die Zeit der Lichtwirkung innerhalb gewisser Grenzen regeln zu können: Die Spiralfeder ist hinreichend lang zu wählen, um, wenn sie vollständig gespannt ist, die Messingscheibe 12 mal um ihre Achse kreisen zu lassen. Nach jeder Umdrehung wird die Scheibe durch einen federnden Eingriff festgehalten, der zum Zweck einer neuen Umdrehung durch einen Abzug zu lösen ist. Bei jeder neuen Umdrehung vermindert sich die Geschwindigkeit wegen der geringeren Kraft der sich mehr und mehr entspannenden Feder, die Belichtungszeit wird daher länger. Wenn sich nun eine lichtempfindliche Platte bei der ersten Drehung als unterexponiert erweist, so wiederholt man die Aufnahme mit hinreichend entspannter Feder.

Moitessier[2] schlägt vor, den Augenblicksverschluß mit Hilfe eines Pistolenschlosses herzustellen, auf dessen Hahn eine geschwärzte, mit passender Öffnung versehene Pappscheibe befestigt ist. Beim Abdrücken der Pistole gestattet diese Öffnung dem Licht für einen Augenblick Zutritt zum Objekte.

Zum Erreichen des gleichen Zieles könnte man natürlich jeden der zahllosen, für die Augenblicksphotographie empfohlenen Momentverschlüsse anwenden. Es leuchtet jedoch ein, daß man bei dieser Methode völlig im dunkeln tappt und dem Zufall überläßt, ob der aufzunehmende Gegenstand sich während der Belichtung überhaupt im Gesichtsfelde befindet.

Nicht anders liegen die Verhältnisse, wenn man die Aufnahme mit dem nur außerordentlich kurze Zeit aufleuchtenden Magnesiumblitzpulver macht. Wie hierbei zu verfahren ist, haben wir auf Seite 95 eingehend erörtert.

---

[1]) Benecke, Die Photographie als Hilfsmittel photographischer Forschung S. 156.

[2]) Moitessier, a. a. O. S. 290.

Bei Herstellung von Augenblicksaufnahmen ging zuerst BOUMANS[1] methodisch zu Werke, indem er ein Mikroskop konstruierte, welches gestattet, gleichzeitig zu beobachten und zu photographieren. Er brachte oben am senkrechten Tubus rechtwinklig einen Seitentubus an und setzte letzteren mit der photographischen Kamera in Verbindung. Eine in Höhe der Abzweigung dieses Seitentubus im Haupttubus befindliche, mit sehr dünner Silberschicht überzogene Spiegelglasplatte leitet den größten Teil der Strahlen (angeblich 75 %) durch den Seitentubus in die Kamera. Der Rest des Lichtes tritt durch den Spiegel hindurch und gelangt in das für den Beobachter bestimmte Okular. Sobald sich das Objekt in einer für die Aufnahme geeigneten Lage befindet, wird ein vor der Kamera angebrachter Momentverschluß ausgelöst und die Platte erhält durch den Seitentubus Licht. Der durch die unvollkommene Spiegelung herbeigeführte, sehr erhebliche Lichtverlust machte eine Verbesserung dieser Vorrichtung wünschenswert, was denn auch durch den Apparat von NACHET[2], dessen Mikroskop einen Haupt- und einen Seitentubus besitzt, erreicht wurde: Ein unmittelbar über dem Objektive angebrachtes Prisma leitet die Strahlen in den mit gewöhnlichem Okular versehenen Seitentubus. Die am oberen Ende des Haupttubus befindliche mikrophotographische Kamera ruht auf vier Säulen. Der Beobachter blickt in den Seitentubus und schiebt, sobald das zu photographierende Objekt im Gesichtsfelde erscheint, durch leichten Druck auf eine Feder das Prisma zur Seite. Alle Strahlen treten nunmehr in den Haupttubus; doch empfängt die lichtempfindliche Platte nur für einen Augenblick Licht; im nächsten Moment ist das Gesichtsfeld wieder verdunkelt.

In der Folgezeit erstrebten Dr. C. VIGUIER[3], MARKTANNER-TURNERETSCHER[4] und COGIT[5] durch ähnliche Vorrichtungen dasselbe Ziel.

MARKTANNER, der sich in der Hauptsache an das Modell von NACHET anlehnt, bringt zwischen Lichtquelle und Objekt eine Scheibe aus Opalglas an, welche den aufzunehmenden Gegenstand während der Beobachtung vor Erwärmung und allzu grellem Licht schützt. Wenn der Beobachter durch Druck auf einen Gummiball das total reflektierende Prisma beiseite schiebt, damit die Lichtstrahlen in den

---

[1]) Les Mondes (Paris) Bd. XIX, 1869, S. 115.

[2]) NACHET, Katalog No. 29 S. 28. Paris 1886. — Journal of the Royal Microscopical Society Ser. II, Bd. VI, 1886, S. 842.

[3]) La Nature, Jahrgang XVI, 1888, S. 389.

[4]) Photographische Korrespondenz 1888 S. 182 u. 467. MARKTANNER, Die Mikrophotographie 1890 S. 188.

[5]) Archives de Photographie et Photo-Revue Suisse No. 5, Mai 1901.

Haupttubus und auf die lichtempfindliche Platte gelangen können, schnellt auch die Opalscheibe beiseite und das Objekt wird für einen Augenblick mit voller Sonne beleuchtet. Die beiden Verschlüsse sind derart angeordnet, daß der Momentverschluß, welcher das Prisma in Bewegung setzt, etwas früher ausgelöst wird, damit die Lichtbahn schon geöffnet ist, wenn die momentane Belichtung des Objektes erfolgt. Um das Objekt beim Beobachten mittels des Okulares durch den Nebentubus bei verschiedenem Balgenauszug der Kamera, der natürlich verschiedene Einstellung benötigt, scharf zu sehen, ließ MARKTANNER die Okularlinsen derart fassen, daß ihr Abstand innerhalb bestimmter Grenzen geändert werden kann. Je größer der Kameraauszug ist, um so mehr müssen die beiden Okularlinsen voneinander entfernt werden. So erhält man im Okular zwar nicht ganz ebene und auch mit Farbensäumen umgebene, aber genügend scharfe Bilder. Die beiden Verschlüsse sind, um jede Erschütterung des Ganzen zu vermeiden, auf gesonderten Untersätzen aufgestellt.

Man machte dem Apparat von NACHET den Vorwurf, daß die Bewegung des unmittelbar über dem Objektiv angebrachten Prismas und der an derselben Stelle befindlichen Vorrichtung zur nachfolgenden Verdunkelung des Gesichtsfeldes eine Erschütterung zur Folge hat. Dies ist nicht zutreffend: ein sorgfältig arbeitender Mechaniker erreicht, daß alles leicht und glatt, ohne Erschütterung zu verursachen, von statten geht. Daher liegt kein Grund vor, auf die so nachteilige Spaltung des Lichtkegels durch Spiegel, oder wie CAPRANICA[1] will, durch ein stereoskopisches Okular (nach ABBE, Fig. 58, zurückzugreifen.

Eine Vorrichtung, welche derjenigen von NACHET ähnlich ist, baut ZEISS (Jena) zum Photographieren flüssiger Kristalle (s. S. 157).

An die NACHETsche Konstruktion (verschiebbares Prisma) lehnt sich auch diejenige von C. LEES CURTIES[2] an, ohne die Vorteile zu bieten, welche der soeben beschriebene Apparat von MARKTANNER brachte.

In etwas einfacherer Weise erreicht STRINGER[3] die Beobachtung des Objektes unmittelbar vor der Aufnahme: Er verwendet einen Fallverschluß, dessen Fallbrett vor dem Belichtungsschlitze noch eine Öffnung trägt, in welche rotes Glas eingesetzt ist. Während der

---

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. VI, 1889, S. 1. EDERs Jahrbuch für 1890 S. 78.

[2]) Journal of the Royal Microscopical Society 1894 S. 516.

[3]) Ebenda 1898 S. 282.

Beobachtung fällt durch dieses Glas rotes, unwirksames Licht auf die Platte. Dies rote Bild beobachtet man durch ein seitlich an der Kamera angebrachtes rotes oder gelbes Fenster. Sieht man, daß sich das Objekt in einer für die Aufnahme günstigen Lage befindet, so löst man den Momentverschluß aus.

Die einfachste Methode ist jedenfalls diejenige von VOGT[1]: Unmittelbar vor der Platte befindet sich ein Schlitzverschluß, dessen dem Mikroskop zugekehrte Seite weiß ist. Auf dieser weißen Fläche beobachtet man das Bild durch ein seitlich an der Kamera angebrachtes Rohr. Daß die Ebene dieses Verschlusses mit der Ebene der Visierscheibe nicht zusammenfällt, schadet nichts. Da die Verhältnisse in der Mikrophotographie ganz anders liegen, als beim gewöhnlichen photographischen Apparat, so ändert sich die Schärfe des Bildes nicht erheblich, wenn man den Abstand der Visierscheibe vom Objekt um einige Zentimeter verändert. Erscheint das Objekt in günstiger Lage, so löst man den Verschluß aus. Natürlich muß man darauf achten, daß während der Aufnahme kein Lichtstrahl durch das Beobachtungsrohr in das Innere dringt. Deshalb ist der Rand des Rohres von einem konischen Ringe umgeben, der mit Sammet beklebt ist. Man braucht dann das Auge nur leicht gegen den Ring zu drücken, um ein Eindringen von Lichtstrahlen zu verhindern.

Es wurden auch Versuche unternommen, von beweglichen Mikroorganismen Reihen-Augenblicksbilder zu fertigen, wie dies in der makroskopischen Photographie früher durch OTTOMAR ANSCHÜTZ und andere bei springenden Pferden, Hunden usw., in neuerer Zeit mit Hilfe des Kinematographen bei allen möglichen Bewegungserscheinungen ausgeführt ist.

Indem ERRERA[2] vorschlägt, den Apparat, dessen sich ANSCHÜTZ bediente, so umzuändern, daß er für mikrophotographische Aufnahmen verwendbar wird, verrät derselbe seine völlige Unkenntnis aller einschlägigen Verhältnisse. ANSCHÜTZ richtete 20 bis 24 Apparate auf denselben Gegenstand und belichtete die verschiedenen Platten innerhalb zwei Sekunden nacheinander. Auf ein mikroskopisches Objekt wird man niemals zwei Dutzend Objektive gleichzeitig einstellen können.

Dem Mikrophotographen blieb also nichts weiter übrig, als seine Kamera derart zu bauen, daß man mit derselben schnell hintereinander mehrere Platten oder verschiedene Abschnitte derselben

[1]) Photographische Rundschau 1905, Heft 14, S. 199.
[2]) Journal of the Royal Microscopical Society 1888 S. 812.

Platte zu belichten vermag. CAPRANICA[1] ersann hierfür eine Einrichtung, welche sich in bezug auf Kassette und Momentverschluß eng an die früher vielfach benutzte STIRNsche Geheimkamera anlehnt. Er setzt auf ein senkrecht stehendes Mikroskop ein binokuläres, stereoskopisches Okular von ZEISS. Nach Abnahme des in der Richtung der zentralen, optischen Achse gelegenen Okulares bringt er an die Stelle des letzteren ein kurzes Rohr; dasselbe trifft im rechten Winkel auf ein ebenfalls kurzes, von dem Stirnbrett einer wagerechten Kamera ausgehendes Rohr. Wo die beiden Rohre zusammenstoßen, ist ein total reflektierendes Prisma angebracht, welches den einen Teil der vom Objektiv kommenden Strahlen in die Kamera leitet; der andere Teil der Strahlen wird durch die Prismenkombination im stereoskopischen Okular dem für das Auge des Beobachters bestimmten, gegen die optische Hauptachse geneigt stehenden Okular zugeführt. Letzteres läßt CAPRANICA nicht an seiner ursprünglichen Stelle unmittelbar über dem Prisma. Vielmehr schaltet er zwischen Prisma und Okular einen ausziehbaren Tubus ein, der durch andere Tuben von derselben Weite, aber von verschiedener Länge ersetzt werden kann. Durch passendes Verlängern dieses ausziehbaren Tubus erreicht CAPRANICA die gleichzeitige scharfe Einstellung des Bildes auf der Visierscheibe und auf der Netzhaut des beobachtenden Auges.

Die in der Kassette befindliche kreisrunde, lichtempfindliche Platte läßt sich durch ein hinter derselben angebrachtes Uhrwerk, dessen Gang man jederzeit pneumatisch unterbrechen kann, in drehende Bewegung versetzen. Auf der vorderen Seite ist die Kassette wie bei dem STIRNschen Apparat durch ein Brettchen geschlossen, welches eine fünfmarkstückgroße, exzentrisch angebrachte, kreisrunde Öffnung besitzt. Hierdurch wird die Möglichkeit gegeben, auf der sich drehenden Platte der Reihe nach sechs Aufnahmen zu machen.

Der demjenigen von STIRN entsprechende, unmittelbar vor der lichtempfindlichen Platte angebrachte Momentverschluß besteht aus einer durch Federkraft kreisenden, mit Ausschnitt versehenen Blechscheibe. Das Arbeiten mit diesem Apparate stellt sich also folgendermaßen: Der Beobachter kontrolliert das Objekt durch den Nebentubus und löst im geeigneten Augenblick pneumatisch den Momentverschluß aus. Darauf tritt das Uhrwerk in Tätigkeit und die lichtempfindliche Platte dreht sich um den sechsten Teil ihres Umfanges; nun abermals Druck auf die Gummibirne, Belichtung und so fort, bis sechs Aufnahmen geschehen sind. Dann muß die Platte durch eine neue ersetzt werden.

---

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. VI, 1889, S. 14.

Um ohne längere Unterbrechung eine größere Anzahl von Belichtungen stattfinden zu lassen, ersetzt Capranica den Rahmen mit der lichtempfindlichen, runden Platte durch eine Rollkassette, welche einen langen Streifen von lichtempfindlichem Negativpapier enthält. Das Uhrwerk, welches vorhin die Platte drehte, muß nun die Rollen derart in Bewegung setzen, daß zu jeder neuen Aufnahme ein noch nicht belichteter Abschnitt des Negativpapiers exponiert werden kann. Capranica will mit dieser Vorrichtung vier Aufnahmen in der Sekunde erzielen, wozu er natürlich 4mal in der Sekunde auf die Gummibirne drücken muß, um den Momentverschluß auszulösen.

Wie Capranica mit seinem Apparate, bei dem alle Teile fest miteinander verbunden sind, scharfe Bilder erhalten will, ist nicht ersichtlich. Der Stirnsche Momentverschluß erschüttert zwar die Kamera während der Exposition nicht, wohl aber nach derselben, wo er mit einem fühlbaren Ruck zum Stillstand kommt. Der Einwand, daß wegen der sehr kurzen Belichtungszeit Erschütterungen des Apparates auf die Bildschärfe keinen nachteiligen Einfluß ausüben, ist nicht stichhaltig; denn die Erfahrung lehrt, daß selbst bei sehr kurzer Exposition nur dann scharfe Bilder erzielt werden, wenn sich die Platte während der Belichtung in Ruhe befindet. —

In der Folgezeit brachte Marey[1] seinen chronophotographischen Apparat zur Aufzeichnung der Bewegungen von Menschen und großen Tieren mit entsprechenden Abänderungen auch für mikroskopische Objekte zur Anwendung und erreichte hierbei beachtenswerte Resultate.

Alle älteren Vorkehrungen für Reihenaufnahmen sind durch den neuerdings außerordentlich verbesserten Kinematographen, der auf dem Gebiete der Reihenaufnahmen makroskopischer Objekte sich das Feld vollkommen eroberte, in den Hintergrund gedrängt. Bekanntlich verwendet man im Kinematographen Celluloïdfilms, d. h. sehr lange, schmale Bänder aus durchsichtiger Masse, welche mit der hochempfindlichen Bromsilberemulsion überzogen sind.

Das wichtigste im Kinematographen ist der Momentverschluß und die Fortbewegung des Celluloïdbandes. Hierfür wurde eine große Zahl verschiedener Konstruktionen angegeben, die in bezug auf Brauchbarkeit sehr voneinander abweichen[2]. Der Momentverschluß besteht zumeist aus einer mit Ausschnitten versehenen Scheibe oder Trommel. Da er während der Aufnahme in ununterbrochener kreisen-

---

[1]) Moniteur de la photographie 1892, 15. Mai.

[2]) Gute Konstruktionen dieser Art bringen z. B. Messter (Berlin), Kretzschmar (Dresden) und Ernemann (Dresden) in den Handel.

der Bewegung sich befindet, so sind die Erschütterungen vermieden, wie sie der bei dem CAPRANICAschen Apparate vorhandene STIRNsche Momentverschluß mit sich bringt.

Bei der Fortbewegung des Celluloïdbandes sind Vorkehrungen nötig, welche das Band während der Exposition jedesmal zum Stillstande bringen. Diese schwierige Aufgabe ist bei den guten Apparaten in vortrefflichster Weise gelöst. Wenn man bedenkt, daß während einer einzigen Sekunde 15 bis 20 Aufnahmen stattfinden, das Band also ebensooft zum Stillstande zu bringen und wieder weiter zu bewegen ist, so begreift man, daß zur Lösnng einer solchen Aufgabe der größte Scharfsinn nötig war.

Paßt man einen derartigen Apparat dem Mikroskope an, so ist natürlich das makroskopische Objektiv zu entfernen. Sorgfältigste Trennung von Apparat und Mikroskop wird unerläßlich, damit letzteres vor Erschütterungen bewahrt bleibt.

Zu bedenken ist, daß bei Reihenaufnahmen die Verhältnisse anders liegen, als bei einer einzelnen Momentanfnahme. Während der Aufnahme einer längeren Bilderreihe werden schnell schwimmende Bakterien, Infusorien und dergl. aus dem Gesichtsfelde entschwinden. Will man diese Lebewesen dennoch kinematographisch aufnehmen, so ist dafür zu sorgen, daß sich so zahlreiche Individnen im Präparate befinden, daß immer einige derselben im Gesichtsfelde sind. Hauptsächlich Wert hat die Reihenaufnahme bei Objekten, die ihre Bewegungen ausführen, ohne dabei nennenswerte Ortsveränderungen vorzunehmen. Diese Verhältnisse machen es nicht unbedingt nötig, ein Mikroskop zu verwenden, welches den seitlichen Beobachtungstubus besitzt. Auf jeden Fall leistet die von VOGT (S. 169) angegebene Einrichtung gute Dienste, weil sie gestattet, auch während der Aufnahme das Bild zu kontrollieren.

Wegen der außerordentlich kurzen Belichtungszeiten sind nur kräftigste Lichtquellen (am besten Sonnenlicht) zu benutzen. Durch eine Absorptionsküvette hat man das Präparat vor Erwärmnng zu schützen. Außerdem ist bis zum Beginn der Expositionszeit das grelle Licht durch eine Opalscheibe zu dämpfen.

Eine erhebliche Schwierigkeit wird immer darin bestehen, daß man in der Mehrzahl der Fälle auf orthochromatische Bildschichten angewiesen bleibt, deren Empfindlichkeit für so kurze Augenblicksaufnahmen nicht immer ausreicht, besonders, wenn auch ein Lichtfilter anzuwenden ist.

Es wäre wünschenswert, daß nach dieser Richtung hin fleißig gearbeitet wird. Jedenfalls dürften dabei interessante Ergebnisse

zutage kommen. Die bis jetzt vorliegenden Nachrichten über gelungene mikrophotographische Reihenaufnahmen sind sehr spärlich.

Über eigenartige Reihenaufnahmen: mikrophotographische Aufzeichnungen von Ausschlägen des Kapillarelektrometers, veröffentlichte R. du Bois-Reymond[1] eine ausgezeichnete Studie. Das Kapillarelektrometer dient zur Untersuchung der elektrischen Vorgänge im Tier- und Pflanzenkörper. Um die Ausschläge desselben bei starker Vergrößerung in Reihen von Augenblicksbildern festzuhalten, benutzt R. du Bois-Reymond Magnesiumblitzlicht oder elektrisches Bogenlicht. Während der Belichtung wird die Trockenplatte mit möglichst gleichförmiger Geschwindigkeit vor einem schmalen Spalt vorübergeführt und bildet auf diese Weise die mit Hilfe des Mikroskopes projizierten Bewegungen des Kapillarelektrometers ab. Statt die Platte vor dem Spalt vorbei zu bewegen, erwies es sich als noch vorteilhafter, dieselbe in Ruhelage zu halten und das stark vergrößerte Bild der sich bewegenden sehr feinen Quecksilbersäule mittels eines kreisenden Spiegels auf die ruhende Platte zu werfen.

---

6. Aufnahmen mit polarisiertem Licht

Die Polarisationsapparate dienen bekanntlich dazu, das zur Beleuchtung der Objekte verwendete Licht derart zu verändern, daß die Strahlen nur in einer Ebene schwingen. Von den verschiedenen Mitteln, mit welchen man polarisiertes Licht erzeugen kann, kommt für unsere Zwecke nur das Kalkspat-Prisma in Betracht. Die bekanntesten Formen dieses Prismas sind dasjenige von Foucault, Nicol, Hartnack-Prazmowski und Abbe. Dieselben eignen sich jedoch nicht alle in gleicher Weise für die Mikrophotographie. Das Foucaultsche Prisma besitzt zu kleine Öffnung; das Nicolsche muß sehr groß und damit auch sehr teuer gewählt werden, wofern das brauchbare Sehfeld nicht zu klein ausfallen soll; außerdem wird bei der starken Neigung der Strahlen gegen die Ein- und Austrittsfläche durch Zurückwerfung die Lichtstärke wesentlich vermindert. Das Hartnack-Prazmowskische Prisma hat den Vorteil größerer Kürze, günstiger Lage der Ein- und Austrittsflächen und einer großen

[1]) Photographische Rundschau 1897, Heft 5, S. 129.

Öffnung; dasjenige von ABBE zeichnet sich vor allen Dingen dadurch aus, daß es eine im Umfange des ganzen Gesichtsfeldes gleiche Bildschärfe gewährt. Die beiden letzten Vorrichtungen sind daher auch für mikrophotographische Arbeiten empfehlenswert.

Das für die Beleuchtnng dieuende Prisma, der Polarisator, wird unter dem Kondensor in genau zentraler Stellung befestigt. Zur Verbindung mit dem ABBEschen Beleuchtungsapparate ist die Fassnng des Kalkspats so eingerichtet, daß dieselbe in den Blendungsträger hineinpaßt.

Das zweite, dem Polarisator entsprechende Kalkspat-Prisma, der Analysator, durch dessen Drehung der vom Polarisator empfangene Lichtstrahl ausgelöscht werden kann[1], läßt sich unmittelbar über dem Objektiv oder im Okular oder über dem letzteren anbringen. Die von MOITESSIER (a. a. O. S. 102) für mikrophotographische Arbeiten empfohlene Stellung des Analysators unmittelbar über dem Objektiv bietet zwar den Vorteil, ohne Einschränkung des Sehfeldes sehr kleine Prismen verwenden zu können; aber die Einschaltung eines so massigen Körpers, wie das polarisierende Prisma, in den Strahlengang bewirkt nach DIPPEL eine Beeinträchtigung der Bildschärfe, welche für feinere Untersuchungen von entschiedenem Nachteil werden muß. ABBE bringt das analysierende (PRAZMOWSKIsche) Prisma im Okular an (Fig. 49) zwischen dem Kollektivglas *d* und dem Okularglas *o*, dicht über der Blende *ff*. Das über dem Okularglase befindliche Diaphragma *b* dient zur Abblendnng des ordentlichen Strahls.

b o f f d

49

Nach ZEISS[2] soll bei mikrophotographischen Aufnahmen der Analysator über der oberen Linse des Projektionsokulares eingeschaltet werden, nachdem die Beleuchtung des Objektes und die Projektion des Bildes in der gewöhnlichen Weise vorgenommen ist.

Wegen der durch Polarisationsapparate unbedingt herbeigeführten Lichtverluste ist Verwendung sehr kräftigen Lichtes zur Beleuchtung (direktes Sonnenlicht, Kalklicht usw.) notwendig.

Die Herstellung von Mikrophotogrammen mit polarisiertem Licht

[1]) Die Auslöschung geschieht bei gekreuzter Prismenstellung.
[2]) ZEISS, Spezialkatalog 1888 S. 49.

gehört keineswegs der Neuzeit an. POHL[1] legte bereits im Jahre 1857 der Wiener Akademie Mikrophotogramme vor, die mit polarisiertem Lichte aufgenommen waren. Auch GERLACH erwähnt (a. a. O. S. 86), daß er dergleichen Versuche mit Erfolg angestellt habe. MOITESSIER beschreibt das Verfahren sehr eingehend (a. a. O. S. 99 bis 106) und gibt seinem Werke eine mit polarisiertem Licht gefertigte Aufnahme von Stärkekörnchen bei. Freilich wird, solange wir nicht in einer für die Praxis verwendbaren Weise imstande sind, die Farben auf der lichtempfindlichen Platte festzuhalten, das polarisierte Licht für die Photographie weit geringere Bedeutung haben, als für die mikroskopische Beobachtung; denn die meisten Polarisationserscheinungen bestehen in der mehr oder weniger glänzenden Färbung gewisser Objekte, welche durch Helligkeitsunterschiede im Bilde nur höchst mangelhaft wiedergegeben werden. In manchen Fällen jedoch, wie beispielsweise bei Aufnahme von Amylumkörnern, entspricht das photographische Bild vollkommen der im Mikroskope zu beobachtenden Erscheinung. Diejenigen Kalk- und Kieselkörper, welche die Eigenschaft haben, das Licht zu polarisieren, erscheinen bei gekreuzten Prismen hell auf dunklem Grunde, genau in derselben Weise, als ob sie mit auffallendem Licht oder mit Dunkelfeldbeleuchtung erhellt wären. Um hierbei zu große Härte der Bilder zu vermeiden, gibt man dem Analysator eine derartige Stellung, daß das Gesichtsfeld ganz mäßig beleuchtet ist.

Wesentliche Verbesserungen erfuhren die mikrophotographischen Polarisationsapparate durch Dr. H. SIEDENTOPF, wissenschaftlichen Mitarbeiter von ZEISS in Jena. Derselbe konstruierte die im folgenden zu beschreibenden Einrichtungen[2]: Die Lichtquelle wird durch einen dreiteiligen Kondensor in der Öffnung des Polarisators mit etwa dreifacher Vergrößerung abgebildet. Nunmehr treten die Strahlen durch den zentrierbaren, achromatischen Kondensor mit langem Fokalabstande (nach Prof. ROLLETT S. 120) in die zu untersuchende Kristallplatte und von dieser abermals in einen zentrierbaren, achromatischen Kondensor, welch letzterer jedoch in entgegengesetzter Richtung (die Frontlinse also der Lichtquelle zugekehrt) befestigt ist. Von hier gelangen die Strahlen zum Analysator, einer parallel zur optischen Achse geschliffenen Platte aus hellgrünem Turmalin. Man

[1]) Sitzungsberichte d. mathem.-naturw. Klasse der kaiserl. Akademie der Wissensch. Bd. XXIII S. 340. Wien 1857.

[2]) HANS HAUSWALDT, Interferenzerscheinungen im polarisierten Licht. Magdeburg 1902.

wählte die Turmalinplatte an Stelle des Kalkspat-Doppelprismas, weil letzteres veranlassen würde, daß ein sonst gut korrigiertes photographisches Objektiv einen Kreis als Ellipse abbildet.

Die Turmalinplatte befindet sich in einer Hülse, welche auf das zur Aufnahme zu benutzende Mikroplanar (83 mm Brw.) geschoben wird. Das Mikroplanar ist unmittelbar an das Objektivbrett der Kamera anzuschrauben. Durch diese Anordnung erlangt man insbesondere auch ein gleichmäßig erleuchtetes Gesichtsfeld. Die beiden achromatischen Kondensoren mit langem Fokalabstande ermöglichen die Erreichung einer numerischen Apertur von nahezu 1.

Um auch die Interferenzerscheinungen im parallelen[1], polarisierten Lichte aufnehmen zu können, konstruierte SIEDENTOPF[2] folgende Einrichtung: Die Strahlen der Lichtquelle werden durch ein photographisches Objektiv in zehnfacher Verkleinerung im Polarisator abgebildet. Ein zweites photographisches Objektiv befindet sich im Abstande seiner Brennweite vom Polarisator. Die durch dies Objektiv parallel gemachten Strahlen gelangen nun auf das Objekt, welches abgebildet werden soll, dann auf ein photographisches Objektiv, fernerhin auf den Analysator und endlich auf ein photographisches Objektiv, welches die Abbildung auf der Mattscheibe besorgt.

Als Analysator verwendet man nicht eine Turmalinplatte, sondern ein Kalkspat-Doppelprisma. Durch die Aufstellung desselben zwischen zwei Objektiven wird die sonst unvermeidliche elliptische Verzeichnung aufgehoben.

Von besonderem, praktischen Interesse wird eine solche Aufnahme im parallelen Licht bei rotierenden Nikols, wenn es sich darum handelt, die neutralen Schichten an beanspruchten Körpern mit Hilfe von Glasmodellen zu untersuchen. Das Rotieren des Polarisators und Analysators bewirkt SIEDENTOPF durch einen kleinen Elektromotor, welcher seine Bewegung durch Zahnräder auf die Nikols überträgt. —

---

[1]) Die Bezeichnung „parallel" ist hier nicht ganz wörtlich zu verstehen, da man bekanntlich mit völlig parallelen Strahlen weder beobachten noch photographieren kann (s. S. 109). Durch die Einrichtung für „parallele Strahlen" wird nur bezweckt, den Neigungswinkel der Strahlen möglichst klein zu machen. Je spitzer allerdings die Beleuchtungskegel werden, welche das Objekt durchsetzen, um so leichter können störende Nebenbeugungsbilder auftreten.

[2]) Dr. HANS HAUSWALDT, Interferenzerscheinungen im polarisierten Licht. Neue Folge. Magdeburg 1904.

Dr. H. SIEDENTOPF, Die Sichtbarmachung der neutralen Schichten an beanspruchten Körpern. (Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins, 1906, No. 33.)

Da beim Arbeiten mit polarisiertem Lichte die Farbenerscheinungen eine wesentliche Rolle spielen, so lassen sich die zur Beseitigung der Fokusdifferenz benutzten Farbfilter nicht verwenden; man muß also Objektive anwenden, die frei von Fokusdifferenz sind. Auch noch aus einem andern Grunde sind die Objektive sorgfältig auszuwählen: Die für die Linsen verwendeten Gläser müssen vollkommen frei von Spannungen sein; besondere Schwierigkeiten bereiten die in den Apochromaten vorhandenen Flußspatlinsen (s. S. 49), weil dieselben in der Regel kein homogenes Gefüge haben. Zur Aufnahme von Achsenbildern der Kristalle sind Objektive, welchen Fehler genannter Art anhaften, nicht verwendbar.

---

7. Spektroskopische Aufnahmen

Der für das Mikroskop bestimmte Spektralapparat wird am oberen Ende des Tubus befestigt und besteht aus einem mit einem Okular verbundenen Amicischen Geradsichtsprisma. Letzteres, aus Kron- und Flintglasprismen zusammengesetzt, führt bekanntlich Farbenzerstreuung herbei, ohne den Lichtstrahl von seinem geradlinigen Wege abzulenken. Ein wesentlicher Bestandteil des Spektralokulars ist ein zwischen dem Kollektiv- und Augenglas des Okulars an Stelle der Blende angebrachter Spalt, welcher sich durch Schrauben verlängern und verkürzen, verengern und erweitern läßt.

Zur Bestimmung der relativen Lage und Breite der Absorptionsbänder dient ein Meßapparat, welcher bei dem von Abbe angegebenen Mikrospektroskop (Fig. 50) folgende Einrichtung hat: Das Geradsichtsprisma *P* liegt mit seiner oberen Endfläche dem Röhrchen *OS* gegenüber, welches auf einem Glasplättchen *S* die Ångströmsche Skala trägt, eine Skala, die in ihrer Teilung die Wellenlängen des Lichtes für jeden Teil des Spektrums in Hunderttausendsteln vom Millimeter (Fig. 51) angibt. Das Bild der durch einen Spiegel *L* hell erleuchteten Skala wird durch die Linse *O* auf die Endfläche von *P* projiziert und fällt, durch letztere reflektiert, gleichzeitig mit dem Spektrum in das Auge oder auf die lichtempfindliche Platte. Die Skala ist durch Drehen an der Schraube *B*, welche das Geradsichtsprisma *P* unter Gegenwirkung der Feder *F* in jede gewünschte Lage bringt, derart einzustellen, daß die Ziffer 589 mit der Fraunhoferschen Linie *D* zusammenfällt. Diese Linie entspricht nämlich einem Licht von Wellenlänge $\lambda = 0{,}000589$ mm.

Bei dem Mikrospektroskop von Abbe ist der eigentliche Spektralapparat R beweglich über dem Okular C angebracht. Nach Lösen der Sperrklinke A läßt er sich um D seitwärts drehen, wodurch ermöglicht wird, das Objekt vor der spektroskopischen Untersuchung in gewöhnlicher Weise durch das Okular zu betrachten. Der verstellbare Spalt befindet sich in der Trommel T.

50'

Für mikrophotographische Zwecke hat das Spektroskop insofern eine Veränderung zu erfahren, als die beiden Okularlinsen des gewöhnlichen Mikrospektroskops gegen diejenigen eines Projektionsokulares (No. II von Zeiss) zu vertauschen sind [1]. Der auf diese Weise abgeänderte Apparat wird an die Stelle des gewöhnlichen Projektionsokulares eingesetzt, nachdem mit diesem vorher das Bild des Objektes, dessen Spektrum aufgenommen werden soll, auf die Platte projiziert worden war. Es wird nun zunächst das zu dem Mikrospektroskop gehörige Amici sche Prisma entfernt und mittels der oberen Linse des Projektions-Spektralokulares

51

ein scharfes Bild des an Stelle der Blende angebrachten Spaltes auf der Platte entworfen; innerhalb dieses Spaltbildes befindet sich dann,

[1]) Zeiss, Spezialkatalog 1888 S. 49. — Die obere Linse muß auch hier, wie bei dem gewöhnlichen Projektionsokular, in einer ausziehbaren Hülse stecken.

gleichfalls scharf, das Bild des Objektes, um dessen Spektrum es sich handelt. Dies Bild wird durch Verengerung und Verkürzung des Spaltes derart eingeschlossen, daß es genau die ganze Spaltöffnung ausfüllt. Hieraus bringt man das Amicische Prisma vor die obere Linse des Projektionsokulares, welche also nur von demjenigen Teile des Präparates Licht empfängt, dessen Spektrum aufgenommen werden soll.

Um das Spektrum eines zu untersuchenden Stoffes mit demjenigen eines ähnlichen, bekannten Stoffes direkt vergleichen zu können, besitzt das Mikrospektroskop eine Vorrichtung, welche gestattet, unmittelbar neben dem Spektrum des zu untersuchenden Körpers dasjenige des Vergleichskörpers zu entwerfen. Die Sache beruht darauf, daß die Hälfte des zwischen den beiden Okulargläsern befindlichen Spaltes durch ein unter dem Spalt (Fig. 52) angebrachtes Prisma verdeckt wird, welches die durch ein kleines seitliches Rohr eintretenden, vom Vergleichskörper herrührenden Strahlen *a* total reflektiert und durch den Spalt nach oben sendet. Auf diese Weise entsteht ein durch eine dunkele Längslinie getrenntes Doppelspektrum, von dem das eine den Strahlen *bb'*, das andere

52

53

den Strahlen *aa'* seinen Ursprung verdankt. Fig. 53 zeigt ein auf diese Weise hergestelltes Doppelspektrum: I ist das Absorptionsspektrum des Oxyhämoglobins, II dasjenige des Hämoglobins.

Da bei den mikrospektroskopischen Untersuchungen die Fraunhoferschen Linien eine wesentliche Rolle spielen, so ist bei derartigen Arbeiten die Verwendung von Sonnenlicht unbedingt notwendig. Besondere Sorgfalt ist ferner auf die Auswahl der lichtempfindlichen

12*

Platten zu legen: Die Absorptionsstreifen können sich im Negativ nur dann markieren, wenn die benachbarten Abschnitte des Spektrums auf die Platte wirken. Nimmt man daher ein Spektrum, bei dem ein Absorptionsstreifen im Gelb vorhanden ist, mit gewöhnlicher Trockenplatte auf, die für Gelb sehr geringe Empfindlichkeit hat, so wird nicht nur der Absorptionsstreifen, sondern auch der angrenzende Teil des Spektrums im Negativ glasklar, im Positiv aber schwarz erscheinen. Die Aufnahme hat in diesem Falle auf gelbempfindlicher (Erythrosin-) Platte zu geschehen.

Zur spektroskopischen Prüfung von Objekten, die mit polarisiertem Licht beleuchtet sind, dient der von Abbe-Dippel angegebene, von Zeiss ausgeführte Spektropolarisator[1], bei welchem von den durch den Polarisator hindurchgegangenen Strahlen in der Objektebene ein Spektrum erzeugt wird. Der Analysator verbleibt in seiner gewöhnlichen Stellung.

8. Stereoskopische Aufnahmen

Handelt es sich in der Porträt- und Landschaftsphotographie um stereoskopische Aufnahmen, so verfährt man dabei folgendermaßen: Der Photograph fertigt zwei Aufnahmen desselben Gegenstandes mit zwei Objektiven, die am Stirnbrett einer geteilten Kamera so weit voneinander entfernt angebracht sind, als der Abstand der beiden Augen beträgt. Die beiden auf diese Weise erhaltenen Bilder sind, da beide Objektive den Gegenstand nicht genau von derselben Seite sehen, nicht völlig gleichartig; betrachtet man dieselben im Stereoskop, so erscheint das aufgenommene Objekt körperlich.

Dies Verfahren läßt sich auf das Mikroskop nicht ohne weiteres übertragen, denn der geringe Bildabstand mikroskopischer Objektive beschränkt in hohem Grade die Möglichkeit, gleichzeitig zwei Objektive auf dasselbe Objekt zu richten. Gleichwohl wurden auch in dieser Richtung Versuche unternommen, und zwar in einer überaus frühen Zeit, nämlich durch den französischen Kapuziner Cherubin im Jahre 1678[2]. Derselbe beschrieb ein Mikroskop mit zwei Tuben und zwei Objektiven. In neuerer Zeit ist auf Veranlassung von Greenough

[1]) Dippel, Handbuch der allgemeinen Mikroskopie S. 358.

[2]) De visione perfecta sive de amborum visionis axium concursu in eodem objecti puncto. Paris 1678.

diese Konstruktionsart durch Zeiss[1] wieder aufgenommen und durch Drüner vervollkommnet (s. Fig. 63). Natürlich kommen hierbei nur schwache Objektive in Frage.

Sind die Objekte unbeweglich und handelt es sich nicht um Okularbeobachtung, sondern um Photographie, wo nichts im Wege steht, die beiden Bilder nacheinander zu fertigen, so kann man, wie dies Wheatstone[2] im Jahre 1853 tat, beide Aufnahmen bei verschiedener Neigung desselben Tubus gegen den Objekttisch ausführen. Da dies Verfahren besonders konstruierte Mikroskope erfordert, so konnte es sich nicht einbürgern. Neuerdings nahm Dr. Scheffer[3] dasselbe wieder auf. Er befestigt die Kamera mit dem Objektiv (es können nur lange Brennweiten verwendet werden) an einem Vertikalstativ, dessen Säule sich sowohl nach rechts, wie nach links neigen und in der geneigten Stellung fixieren läßt. Der Grad der Neigung wird an einer Skala abgelesen. Die Achse, um welche sich die Säule dreht, besitzt zentrale Durchbohrung, in welche eine Zentriernadel genau hineinpaßt. Zum Auflegen des Präparates verwendet man einen in der Höhe verstellbaren Mikroskoptisch, der einen Mikroskoptubus nicht besitzt. Nach Fortnahme des Objekttisches wird die Zentriernadel durch die Durchbohrung hindurchgesteckt, so daß sich ihre Spitze unter dem Objektiv befindet. Man stellt nun auf diese Spitze mit Hilfe der an der Kamera angebrachten Mikrometerschraube scharf ein, zieht die Zentriernadel wieder heraus und bringt an die Stelle, wo sich die Spitze der Zentriernadel befand, den Objekttisch mit dem Präparat. Die Scharfeinstellung darf nunmehr lediglich mit der unter dem Objekttisch angebrachten Mikrometerschraube geschehen. Eine Neigung der Säule von je drei Grad nach rechts und links von der senkrechten Medianstellung bei den beiden Teilaufnahmen gibt die besten stereoskopischen Wirkungen. Die Vorrichtung wird von R. Fuess in Steglitz hergestellt. —

Auch bei rechtwinkliger Stellung der Tubusachse gegen den Objekttisch kann man ein Objekt mit demselben Objektiv von zwei Seiten betrachten und photographieren, wenn man einmal die linke,

---

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. XIV, 1897, S. 5 u. S. 289.

[2]) Quarterly Journal of microscopical Science Bd. II S. 290. London 1854.

[3]) Photographische Rundschau 1903, Heft 8, S. 104.
Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie 1903, S. 18.
Zeitschrift für Kristallographie 1903, Bd. XXXVIII, S. 99.
Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. XVIII, S. 104; Bd. XIX, S. 289.

das andere Mal die rechte Hälfte des Objektives abblendet[1]. Man arbeitet in diesem Falle eigentlich mit zwei Objektiven, deren optische Achse durch die Schwerpunkte der äquivalenten Linsenhälften gehen. Die beiden Hälften des Objektives wirken in diesem Falle vollkommen unabhängig voneinander; die von ihnen gelieferten Bilder erzeugen, sobald man sie im Stereoskop richtig vereinigt, den Eindruck des Körperlichen.

Moitessier bringt die halbe Blendung dicht vor der Frontlinse des Objektives an; er befestigt dieselbe unten an einem Messingrohr, welches auf ein zweites Messingrohr derart aufgesteckt wird, daß es sich um letzteres leicht drehen läßt. Ein an dem inneren Rohre eingeschraubter Stift erlaubt dem mit einem halbkreisförmigen Schlitze versehenen, äußeren Rohre genau eine halbe Drehung. Das innere Rohr paßt über das Objektiv hinweg auf das untere Ende des Tubus. Bei recht schwachen Objektiven soll es stattbaft sein, die Hälfte der hinteren Linse des Objektives mit einer schwarzen Pappscheibe zu bedecken und nach der ersten Aufnahme das Objektiv in der Schraubenverbindung mit dem Tubus eine halbe Drehung machen zu lassen. Da hierdurch die Einstellung verändert wird, so muß für das zweite Bild nochmals eingestellt werden. Die Brauchbarkeit seiner Methode beweist Moitessier aufs schlagendste durch ein seinem Lehrbuche beigegebenes, vorzügliches Mikrostereogramm.

Nach Fritsch[2] ist es unvorteilhaft, die halbe Blendung vor der ersten brechenden Fläche des Objektives anzubringen. Denn abgesehen davon, daß dieselbe hier von der Ebene der äquivalenten Linse zu weit entfernt liegt, muß die Kante bei dem geringeren Durchmesser und großen Öffnungswinkel der unteren Linsen einen störenden Einfluß ausüben. Fritsch bringt daher die Blende im Objektiv selbst an und erreicht den Wechsel der Stellung durch Drehung desselben. Zu dem Zwecke wird das Objektiv nicht direkt dem Tubus des Mikroskops angefügt, sondern durch Vermittlung einer kleinen, in einer äußeren Hülse sich drehenden Scheibe. Die Hülse trägt das Gewinde zum Ansatz an den Tubus, die Scheibe das Gewinde zur Aufnahme des Objektives. Um das nachherige Abschrauben des Objektives zu erleichtern, empfiehlt es sich, eine kleine federnde Rast anzubringen, durch deren Festdrücken von außen man die Drehung der Scheibe

[1]) Moitessier, a. a. O. S. 148.

[2]) Fritsch, Über das stereoskopische Sehen im Mikroskop und die Herstellung stereoskopischer Mikrotypien auf photographischem Wege: Festschrift zur Feier des hundertjährigen Bestehens der Gesellschaft naturforschender Freunde zu Berlin S. 93. Berlin 1873.

aufhalten kann. So arbeitet man stets mit der gleichen Hälfte des Objektives, welche einmal links, das andere Mal rechts steht, hat also auch sicher dieselbe Lichtmenge und, wenn die Scheibe genau gearbeitet ist, denselben Fokus. Über den Grad der erzielten Verschiebung kann man sich leicht unterrichten, wenn das System unter gleichzeitiger Beobachtung eines in den Fokus gebrachten Objektes gedreht wird: man erkennt alsdann das eigentümliche Wandern der Umrisse, deren einzelne Punkte kleine Kreise beschreiben.

Die zur Erzeugung stereoskopischer Wirkung notwendige Teilung des Lichtkegels läßt sich auch durch Prismen erreichen. Derartige Versuche wurden zuerst von dem Amerikaner Riddell [1] im Jahre 1853 vorgenommen, welcher oberhalb der letzten brechenden Fläche des Objektives vier total reflektierende Prismen anbrachte. Nebenstehende Skizze (Fig. 54) veranschaulicht den auf diese Weise erzeugten Gang der Lichtstrahlen. Die vier Prismen ruhen in einem Messinggehäuse, welches zwei Mikroskoprohre trägt (Fig. 55). Die Strahlen, welche die rechte und die linke Hälfte der Objektivlinse passieren, entwerfen also gesonderte Bilder.

54

Um die durch das bildumkehrende Okular herbeigeführte pseudoskopische Wirkung, d. h. das Erscheinen der Gegenstände als Vertiefung, die in Wirklichkeit Relief sind, aufzuheben, ersann Nachet verschiedene Vorrichtungen. Von diesen ist die in Fig. 56 dargestellte die sinnreichste, da sie die Möglichkeit gewährt, den Gang der Lichtstrahlen zu verändern: das eine der beiden Prismen stellt ein Trapezoïd dar, welches man sich aus einem quadratischen und einem

[1]) American Journal of Sc. and Arts. 1853, Juni. — Quarterly Journal of microscopical Science [London] Oktober 1853, no. 5.

rechtwinkligen Prisma verschmolzen denken kann; das andere ist ein gewöhnliches rechtwinkliges Prisma. Je nach Stellung der Prismen tritt verschiedene Wirkung ein; befindet sich das Trapezoïd in seiner ganzen Ausdehnung über der Linsenöffnung, so werden die von der linken Hälfte des Objektives herrührenden Strahlen von der total reflektierenden Fläche des Trapezoïds auf das zweite Prisma geworfen und steigen, von diesem aufs neue reflektiert, im rechten Tubus auf. Die von der rechten Hälfte des Objektives kommenden Strahlen gelangen dagegen ungebrochen in den linken Tubus. Schiebt man das Trapezoïd so weit vor, daß die spitzwinklige Kante desselben über der Halbierungsebene des Objektives steht, so gehen die linksseitigen Strahlen ohne Brechung zum linken Auge; die rechtsseitigen treffen dagegen auf die total reflektierende Hypotenusenfläche und gelangen, nachdem sie auch im zweiten Prisma gebrochen sind, ins Auge. In dem bildumkehrenden, zusammengesetzten Mikroskop erhält man bei der

55

56

zweiten Anordnung der Prismen pseudoskopische, bei der ersten dagegen stereoskopische Bilder.

Für die soeben besprochenen Prismen konstruierte Nachet ein eigenes Mikroskop, bei dem die Anordnung der Tuben nicht symmetrisch ist (Fig. 57). Ein Tubus steht senkrecht über der Mitte des Objekttisches; der andere zweigt sich im spitzen Winkel dort ab, wo unmittelbar über dem Objektiv das Messinggehänse für die Aufnahme der Prismen angebracht ist. Durch einen vorstehenden Knopf kann man die Prismen in der oben beschriebenen Weise verschieben.

57

Von den verschiedenen, zur Erzeugung stereoskopischer Wirkung empfohlenen Anordnungen erwähnen wir nur noch das stereoskopische Okular nach Abbe (Fig. 58). Die Teilung der vom Objektiv kommenden Strahlenbüschel erfolgt am oberen Ende des Tubus durch teilweise Reflexion an einer dünnen Luftschicht c zwischen zwei aneinander liegenden Glasprismen. Die geradlinig hindurchtretenden Strahlen gelangen in ein in der Achse des Tubus stehendes Okular O, die reflektierten dagegen vermöge nochmaliger Reflexion durch das Prisma C in ein zweites Okular P, dessen Achse unter 14° gegen die Tubusachse sich neigt. Stereoskopisches Sehen tritt nur dann ein, wenn die Strahlenbüschel durch Halbdiaphragmen über den Okularen halbiert werden.

Zur Herstellung stereoskopischer Mikrophotogramme kann man nun, wie dies schon vor mehr als drei Jahrzehnten durch Jules Dubosq geschah, die durch eine Scheidewand in zwei Hälften geteilte Kamera direkt an ein binokulares Miskroskop (Fig. 55) ansetzen und mit Hilfe von Projektionsokularen beide Hälften gleichzeitig oder nacheinander

exponieren. Hierbei ist es gleichgültig, ob die Prismenanordnung für die Okularbeobachtung pseudoskopische oder stereoskopische Bilder liefert, da das Endresultat nur von dem richtigen Aufkleben der Photogramme abhängt. Bei dem in Fig. 54 veranschaulichten Gang der Strahlen hat man den Vorteil vollkommener Symmetrie. Die von beiden Hälften des Objektives ausgehenden Strahlen legen einen ganz gleichen Weg zurück, haben daher auch gleiche Größe und Helligkeit der Bilder zur Folge. Bei dem stereoskopischen Mikroskop nach Nachet (Fig. 57) ist es wegen der ungleichen Länge des Weges, welchen die Strahlen in beiden Tuben zu durchlaufen haben, angezeigt, ein Bild nach dem anderen zu fertigen und nur den senkrechten Tubus zu benutzen, in welchem man durch Verschiebung der Prismen nach Belieben das dem rechten oder dem linken Auge angehörende Bild erzeugt.

58

Bei Benutzung des Abbeschen stereoskopischen Okulares (Fig. 58) müßte man die Okulare *O* und *P* durch Projektionsokulare ersetzen und über denselben Halbdiaphragmen anbringen. Wegen der Winkelstellung der Okulare hat die Kamera bei den nacheinander zu erfolgenden Aufnahmen ihren Platz zu wechseln, damit jedesmal ihre Längsachse mit der optischen Achse des Okulares zusammenfällt.

Den bisher besprochenen Methoden zur Erzielung stereoskopischer Mikrophotogramme haften wesentliche Nachteile an. Schon Moitessier (a. a. O. S. 147) weist darauf hin, daß man bei Gebrauch der Prismen

wohl mit auffallendem, nicht aber mit durchfallendem Licht brauchbare Bilder erhält: in den mit dnrchfallendem Licht gefertigten Photogrammen machen sich seltsame, den körperlichen Eindruck fast gänzlich aufhebende Wirkungen bemerkbar. Die nicht völlige Gleichheit der beiden Linsenhälften und die Schwierigkeit, ebene Prismenflächen zu schleifen, mögen hierbei eine Rolle spielen. Um diese Übelstände zu vermeiden, bildete man andere, im folgenden zu beschreibende Methoden ans.

E G C G E H H B A F

59

v. Babo schlug im Jahre 1861 vor, den Objektträger mittels eines kleinen Pappstreifens erst auf der einen und dann auf der anderen Seite etwas zu erhöhen. Dann konstruierte derselbe, um die Neigung des Objektes gegen die Achse des Mikroskops bequem ändern zu können, eine kleine Wippe ans Messingblech, die mit etwas Wachs auf dem Objekttische befestigt wurde. Durch dieselbe ist eine Neignng des Objektträgers nach beiden Seiten hin um etwa 5° möglich.

C B A

60

Die später von Moitessier (a. a. O. S. 153) angegebene stereoskopische Wippe (Fig. 59) ruht auf einer runden Platte *A*, welche in ihrer Mitte von einer kreisrunden Öffnung dnrchbohrt ist, an die sich der genau in die Öffnung des Objekttisches passende Tubus *F* anschließt. In den Endpunkten eines ihrer Durchmesser trägt dle Platte *A* zwei senkrechte Ständer *E* mit dem Zapfen *H*,

um welch letztere eine zweite, runde, mit den Ständern *G* versehene Platte *B* drehbar ist. Auch die Platte *B* ist in der Mitte durchbohrt und trägt hier ein kurzes Rohr, in welchem sich das zentrale Rohr einer dritten runden Scheibe *C* mittels eines Schraubengewindes auf- und abbewegt. Auf der Platte *C* befestigt man den Objektträger mit Klemmfedern. Zwei in der Abbildung nicht sichtbare Federn halten, wie Fig. 60 zeigt, die Platte *B* in geneigter Stellung. Platte *A* muß auf dem Objekttisch so befestigt sein, daß sie sich in dem Loche desselben nicht drehen kann. Wenn dieser Apparat auf dem Tische des Mikroskopes angebracht ist, so liegt der Objektträger, also auch das Objekt, unter dem Objektiv nicht wagerecht, sondern bildet mit der wagerechten Ebene einen Winkel, dessen Größe abhängt von der Höhe der Achse *H* über der Platte *A* und von dem Durchmesser der Platte *B*. Nachdem nun bei schiefer Stellung der Wippe das erste Bild aufgenommen ist, neigt man die Platte *B* um den gleichen Winkel in entgegengesetzter Richtung und macht dann die zweite Aufnahme. Die beiden so erhaltenen Bilder entsprechen, wenn ein passender Winkelunterschied gewählt war, den Anforderungen vollkommen und zeigen im Stereoskop betrachtet ein deutliches Relief.

Bei Anwendung der Wippe hat man besonders darauf zu achten, daß die Oberfläche des abzubildenden Objektes genau in die Ebene der Drehungsachse *H* fällt. Ist dies nicht der Fall, so verändert das Objekt bei Drehung der Wippe seine Lage und könnte bei Benützung starker Objektive selbst ganz aus dem Gesichtsfelde verschwinden. Um diesem Übelstande vorzubeugen, ist das an der Platte *C* befestigte Rohr in dem Rohre der Platte *B* mittels eines Schraubengewindes beweglich. Man kann daher je nach der Dicke des Objektträgers die Platte *C* heben oder senken, so daß die Ebene des Objektes in jedem Falle genau mit der Drehungsachse *H* zusammenfällt. Am besten nimmt man diese Korrektion an der Platte *C* bei wagerechter Stellung der Platte *B* vor.

Das einfachste Mittel, die Wippe unter verschiedenen Winkeln zu fixieren, besteht in der Anwendung eines keilförmigen Messingstückes, welches unter den der Platte *A* aufliegenden Teil der Scheibe *B* untergeschoben wird, und dessen weiteres Vorschieben zunächst eine Verminderung der Neigung, dann eine Wagerechtstellung der Platte *B* und endlich eine Neigung nach der entgegengesetzten Seite hin bewirkt, indem die zwischen den Platten *A* und *B* auf der andern Seite befindlichen Federn mehr und mehr zusammengedrückt werden.

Der Winkel, um welchen man das Objekt zwischen den beiden Aufnahmen dreht, muß eine jedem bestimmten Falle angemessene

Größe haben. Für mittelstarke Objektive eignet sich ein Winkel von 7 bis 8°, während man ihn bei ganz schwachen Systemen his auf 12° vergrößern, hei Anwendung starker Objektive dagegen bis auf 4 oder 5° verkleinern wird. Mittels des keilförmigen Messingstückes kann man innerhalb gewisser Grenzen den Winkel verändern nnd durch einige auf dem Keile angehrachte Marken hezeichnen, welche Stellung desselben einem Winkel von hestimmter Größe entspricht. Statt dieses Keils und der auf der andern Seite befindlichen Federn könnte man, wie Moitessier meint, auch auf heiden Seiten der Scheibe *B* Schrauben anbringen, die gegen die Platte *A* drücken und so die Neigung bewirken.

Die Einstellung des Bildes erfordert hei Anwendung der Wippe besondere Vorsichtsmaßregeln. Nachdem zuerst die Platte *B* mittels des Keils wagerecht gestellt ist, wird der aufzunehmende Teil des Objektes ins Gesichtsfeld gehracht und das ganze Ohjekt durch die drehbare Platte *C* genan in die Ebene der Achse *H* gehoben. Daß dies erreicht ist, erkennt man leicht daran, daß bei verschiedener Neigung der Wippe das Gesichtsfeld sich nicht verändert.

Nach diesen Vorbereitungen wird die Platte *B* bis zu einem angemessenen Winkel geneigt und die erste Aufnahme vollzogen. Nur selten bleiht, nachdem man dann die Platte *B* nach der entgegengesetzten Seite um den gleichen Winkel geneigt hat, die Einstellung des Bildes hinreichend scharf, um ohne weiteres die zweite Anfnahme vornehmen zu können. Der Theorie nach dürfte ein solcher Unterschied nicht eintreten; in der Praxis aher kommt nach Moitessier durch die nnvermeidliche Abnutznng der Achsen und durch die beim Wechsel der Neigung stattfindende Erschütterung fast immer eine geringe Veränderung der Einstellung zustande. Man muß daher vor der zweiten Aufnahme von neuem einstellen und hat dahei sorgfältig darauf zu achten, daß sich genau die gleiche Stelle des Objektes im Gesichtsfeld hefindet.

Starke Objektive mit kurzem Fokalabstande sind für die soeben beschriebenen Arbeiten nicht verwendbar, da ihre hreite Messingfassung ein Neigen der Platte *B* nicht zulassen würde.

Ein Übelstand besteht darin, daß man, da die Objekte dem Objektiv gegenüber eine schiefe Stellung einnehmen, eigentlich immer nur für einen kleinen Teil des Gesichtsfeldes scharf einstellen kann. Da aber der notwendige Winkelnnterschied mit dem Anwachsen der Vergrößerung abnimmt, so kommt es selten vor, daß man mit der Wippe befriedigende Bilder nicht zu erzeugen vermag.

Die Wirkung der Schrägstellung des Präparates durch Schrägstellung der Kassette aufheben zu wollen — wie dies JESERICH[1] vorschlug — führt nicht zum Ziele. Neigt man nämlich das Präparat auch nur um 4 oder 5° gegen die Ebene des Objekttisches, so müßte die Platte in einem Winkel von 45° bis beinahe 90° gegen dieselbe Ebene geneigt sein, um annähernd die Wirkung der Schrägstellung des Präparates aufzuheben. Daher ist die Sache in der Praxis unausführbar. Die von JESERICH (a. a. O. S. 114) abgebildete Kamera mit schräg zu stellender Platte gestattet eine Neigung von nicht mehr als 12°. Es scheint demnach, daß der völlig irrige Gedanke vorgelegen habe, man brauche die Platte dem Objektträger nur parallel zu stellen, um von Rand bis zu Rand scharfe Bilder zu erhalten. Nebenbei sei noch erwähnt, daß bei Projektion des Bildes allein mit dem Objektiv, ohne Okular, die Neigung des Objektträgers und der Platte eine entgegengesetzte, bei Anwendung des aufrechte Bilder liefernden Projektionsokulares dagegen eine nach derselben Seite hin erfolgende sein müßte.

Mit Hilfe der Wippe erhält man auch bei durchfallendem Licht Aufnahmen, die sich im Stereoskop zu einem körperlichen Bilde vereinigen lassen.

FRITSCH[2] brachte einige Veränderungen an der stereoskopischen Wippe an. Eine besondere Korrektion dient dazu, die Lage der Drehungsachse in genaue Übereinstimmung mit der optischen Achse des Systems zu setzen. Trifft die optische Achse nicht die Mitte der Drehungsachse, liegt letztere also nicht genau in der Mittellinie des aufzunehmenden Gesichtsfeldes, so erhält man überhaupt nicht stereoidentische, im Stereoskop zu vereinigende Bilder. Hat man die Wippe dem Objekttisch so genau angefügt, daß bei Anwendung eines bestimmten Objektives die Drehungsachse von der optischen Achse geschnitten wird, so ist dies keineswegs bei allen andern Objektiven nun auch der Fall.

Die Fußplatte *a* der Wippe von FRITSCH (Fig. 61) besteht aus zwei in sich verschiebbaren Rahmen, von denen der innere, in der Figur nicht sichtbare, mit zwei Zapfen *z* in entsprechende Löcher des Objekttisches eingreift und daher unbeweglich ist. Der äußere läßt

[1]) JESERICH, Die Mikrophotographie S. 113.

[2]) Festschrift zur Feier des 100jährigen Bestehens der Gesellschaft naturforschender Freunde zu Berlin, Berlin 1873, S. 89. Vergl. hierzu auch den Aufsatz von FRITSCH über „photographische Stereogramme in vergrößertem Maßstabe“: Internationale medizinisch-photographische Monatsschrift Bd. II, 1895, S. 289.

sich dagegen durch die beiden Schrauben *f* in wagerechter Richtung verschieben. Die drehbar aufgesetzte Platte *c* bewegt sich durch die senkrechte Schraube *e* auf- und abwärts, während zwei unten angebrachte Sperrfedern *n* den sichern und gleichmäßigen Gang regulieren. Das seitlich angebrachte Stück eines Teilkreises erlaubt, die Drehungsgröße zu bestimmen. Die obere Platte ist wiederum doppelt, so daß der Teil *d* durch die Schraube *g* gehoben oder gesenkt werden kann; sie dient zur Korrektion der Dicke des Objektträgers[1].

Die Arbeit mit der Wippe geht in der Weise vor sich, daß man sich durch ein möglichst genau in der Drehungsachse ausgespanntes feines Haar deren ungefähre Lage andeutet und so den Apparat auf dem Objekttisch im groben einstellt. Auf dem Apparat wird nun mittels der Klemmfedern ein Objektträger von der auch später zu benutzenden Dicke befestigt, auf welchem mit dem Diamant senkrecht zur Längsrichtung einige Parallellinien eingeschnitten sind.

61

Bringt man die mittelste davon in die Mitte des Gesichtsfeldes und beobachtet die Linien unter gleichzeitiger Bewegung der senkrechten Schraube durch das Mikroskop, so läßt sich durch das Verschwinden derselben aus dem Fokus leicht feststellen, welche Lage die Drehungsachse zur optischen Achse hat. Fällt die Mitte des Gesichtsfeldes mit der Drehungsachse zusammen, so macht eine Veränderung in der Neigung der Wippe keine neue Einstellung für die mittlere Linie notwendig. Durch Benutzung der Korrektionen lassen sich Abweichungen leicht ausgleichen. Bei der Aufnahme selbst wird nach Fritsch nur einmal eingestellt, da das Umlegen der Wippe zwischen dem Exponieren der beiden Bilder für das mittlere Gesichtsfeld keinen Unterschied ergeben darf.

Arbeitet man in dieser Weise, so gewinnt man brauchbare Resultate, welche die Anwendbarkeit des Verfahrens gegenüber den

[1]) Eine nach den Angaben von Fritsch konstruierte Wippe wird durch den Universitätsmechaniker Oehmke in Berlin (Dorotheenstraße 35) zum Preise von 36 Mark in den Handel gebracht.

theoretischen Bedenken außer Zweifel stellen. Von solchen Bedenken ist nach Fritsch wohl keins schwerer wiegend, als der sachlich begründete Einwand, daß man durch Annäherung oder Entfernung der identischen Bildhälften mit Notwendigkeit in dem einen Falle eine Vergrößerung, im andern eine Verkleinerung der zu vereinigenden Bilder herbeiführt und so stereoidentische Aufnahmen nicht erzielt. Abgesehen von dem tatsächlichen Beweis der Möglichkeit kann man gegen diesen Einwand geltend machen, daß die Lageveränderung des Objektes gegen das optische System zu geringfügig ist und zu sehr in das seitliche Gesichtsfeld gehört, um einen störenden Einfluß auszuüben.

Nach Fritsch lassen sich allgemein gültige Angaben über die vorteilhafteste Neigung der Wippe nicht machen. Vielmehr hat der Photograph je nach der Vergrößerung sowie nach der Beschaffenheit der Objekte durch praktischen Takt darüber zu entscheiden, wie stark er neigen darf. In der Entfernung des deutlichen Sehens beträgt der optische Winkel der Sehachsen ungefähr 20°; ebensoviel Grade sind auch auf dem Kreisbogen der Wippe eingetragen. Indessen ist dies mehr, als man unter gewöhnlichen Verhältnissen braucht und die Objekte wegen der eintretenden Bildzerrungen zu gestatten pflegen. Die Hälfte dieser Schwankung, also 10°, ist meist ausreichend, um genügende Verschiebung zu ergeben. Bei stärkeren Objektiven, wo die Kürze des Fokus hindernd in den Weg tritt, muß man sich mit geringerer Neigung begnügen. Dasselbe gilt, wenn das Bild weit in das seitliche Gesichtsfeld hineinreicht und man diese Teile mit berücksichtigen muß.

Einer Wippe von ungewöhnlicher Größe bediente sich Spalteholz[1] bei seinen Arbeiten über die Arterien der menschlichen Haut. Die großen Ausmessungen der Wippe wurden nötig wegen der bei nur schwächsten Vergrößerungen (1,2 bis 6) aufgenommenen, großen Präparate.

Man versuchte auch durch Verschieben des Objektes in das rechte und linke, seitliche Gesichtsfeld zu stereoskopischen Mikrophotogrammen zu gelangen. In größerem Maße ist solche Verschiebung natürlich nur bei schwachen Objektiven möglich. Benutzt man beispielsweise ein Objektiv von 2 cm Brennweite der äquivalenten Linse, so lassen sich kleine Objekte höchstens um 2 mm nach rechts und links vom Mittelpunkte des Gesichtsfeldes verschieben. Man erhält auf diesem

[1]) Prof. W. Spalteholz, Die Arterien der menschlichen Haut. Leipzig 1895, Veit & Co.

Wege wie bei der Wippe einen optischen Winkel von 10° für die beiden nacheinander aufzunehmenden Bilder. Der scheinbare Vorteil, daß die Oberfläche des Objektes dabei senkrecht zur optischen Achse des Objektives verbleibt, erweist sich in der Praxis als ein Nachteil, indem die perspektivische Verschiebung so gering wird, daß die Aufnahmen im Stereoskop flach bleiben. Die Methode der Verschiebung ins seitliche Gesichtsfeld ist nach Fritsch (a. a. O. S. 92) nur anwendbar, wenn in der auf S. 182 beschriebenen Weise erst die eine und dann die andere Hälfte des Objektives abgeblendet wird. Dr. Laker[1] in Graz erzielte bei ganz schwachen Vergrößerungen (4 bis 10) durch Verschieben des Objektes in das seitliche Gesichtsfeld Bilder von vorzüglicher stereoskopischer Wirkung, ohne daß er bei der Aufnahme das Objektiv zur Hälfte abblendete.

Die Methode der seitlichen Verschiebung ist neuerdings von Dr. Scheffer wieder aufgenommen, nur daß derselbe nicht das Präparat, sondern das Objektiv verschiebt. Bei Objektiven von großer Brennweite liefert das Verfahren treffliche Ergebnisse. Scheffer befestigt das Objektiv auf einem Schlitten, der durch Mikrometerbewegung verschiebbar ist. Der Schlitten wird unmittelbar am Stirnbrett der Kamera befestigt.

Zur Erreichung stereoskopischer Wirkung stellt v. Babo ohne Änderung der Lage des Objektträgers und ohne Teilung des Objektives bei der zweiten Aufnahme auf tiefer gelegene Teile des Präparates ein, als bei der ersten. Neuerdings ist dasselbe Verfahren wieder von Hansemann[2] und von Borden[3] empfohlen. Die hierdurch gewonnenen Bilder machen jedoch, im Stereoskop betrachtet, keinen vollkommen körperlichen Eindruck.

Ein Verfahren, welches mit der stereoskopischen Wippe Ähnlichkeit hat, beschreibt Dr. W. Gebhardt[4]. Dasselbe ist aber nur bei schwacher Vergrößerung verwendbar: Auf einem Grundbrettchen liegt, mit letzterem mittels eines durch ihren Mittelpunkt gehenden Nagels befestigt, eine runde Holzscheibe; neben ihrem Rande ist ein Stift in das Grundbrettchen eingeschlagen; derselbe dient als Index zu einer Gradteilung, die man an einer Stelle des Scheibenrandes in einer Ausdehnung von 15 bis 20° aufgezeichnet hat. Die notwendigen

[1]) Eders Jahrbuch für 1893 S. 297.

[2]) Verhandlungen der physiologischen Gesellschaft zu Berlin Jahrgang 1892—1893 No. 4 u. 5.

[3]) Stereoscopic Photomicrography: American microscopical Journal Bd. XIV, 1894, S. 329.

[4]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. XIII, 1896, S. 419.

Winkelverschiebungen schwanken von 6 bis 15°. Je stärker die Vergrößerung, desto geringer ist die Winkelverschiebung. Das aufzunehmende Objekt wird auf der drehbaren Scheibe so befestigt, daß es sich vom Zentrum der Scheibe hauptsächlich nach hinten und nach den Seiten hin ausbreitet. Die Einstellung erfolgt in der Mittelstellung zwischen den beiden Aufnahmestellungen. Nachdem die erste Aufnahme geschehen ist, wird die Scheibe für die zweite um einen bestimmten Betrag gedreht. Bei der zweiten Aufnahme bietet das Objekt also dem Objektiv eine andere Ansicht dar. Die Projektionssysteme 35 und 70 mm von Zeiss lassen sich hierfür gut verwenden. Handelt es sich um Aufnahme undurchsichtiger Objekte, so ist es vorteilhaft, den Objekten einen kleinen, auf der Drehscheibe gleichfalls Platz findenden Hintergrund zu geben. Aufgespießte Insekten steckt man mit der Nadel erst durch ein Stück Papier und dann wagerecht in einen auf der Drehscheibe exzentrisch aufgestellten Kork, so zwar, daß das kleine Objekt senkrecht über dem Mittelpunkte der Drehscheibe steht. Objekte in Flüssigkeiten stellt man in Küvetten auf die Drehscheibe.

Das sinnreichste und zugleich einfachste Verfahren zur Herstellung stereoskopischer Mikrophotogramme (bis zu den stärksten Vergrößerungen) ist ebenfalls von Dr. W. Gebhardt[1] angegeben. Voraussetzung bleibt hierbei Anwendung eines Abbeschen Beleuchtungsapparates. Mit Hilfe der unterhalb des letzteren angebrachten Blende regelt Gebhardt die Beleuchtung derart, daß bei der einen Aufnahme das Licht von rechts, bei der anderen von links auf das Präparat einschießt. Das Verfahren ähnelt demjenigen der halben Blende von Moitessier, nur daß hier die halbe Blende nicht am Objektiv, sondern an der Unterseite des Beleuchtungsapparates sich befindet. Die Regelung der Beleuchtung findet in der schon wiederholt beschriebenen Weise so statt, daß man nach Einstellung des aufzunehmenden Präparates das Okular aus dem Tubus entfernt und sich davon überzeugt, wieviel und welcher Teil von der freien Öffnung des Objektives mit Licht erfüllt ist. Mit Hilfe der am Beleuchtungsapparat angebrachten Blende verkleinert man den Lichtkegel dergestalt, daß er ungefähr den dritten Teil der freien Öffnung des Objektives ausfüllt (Fig. 62 *a*). Nunmehr rückt man die Blende aus ihrer zentralen Stellung an die Peripherie (so daß also auch der im Tubus sichtbare helle Lichtkreis an die Peripherie des Objektives wandert, Fig. 62 *b*) und macht die erste Aufnahme. Für die zweite Aufnahme bringt man die Blende

[1]) Photographische Rundschau 1897 Heft 11 S. 334 und Heft 12 S. 387.

an die entgegengesetzte Seite der Peripherie des Beleuchtungsapparates (Fig. 62 *c*).

Daß durch den Wechsel der Blendenstellung in der Tat die Vorbedingungen zum Zustandekommen eines stereoskopischen Bildes gegeben sind, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man bei der Okularbeobachtung diesen Wechsel vornimmt. Man sieht dann, daß sich das Objekt hierbei so verändert, als ob man es auf der stereoskopischen Wippe hin- und herbewegt.

Die beiden Stellungen der Blende im Beleuchtungsapparat müssen so gewählt werden, daß die Wirkung möglichst günstig ist. Die Verschiebung darf weder zu groß, noch zu klein sein. Bei der Verschiedenheit der Bedingungen lassen sich bestimmte Regeln hierfür nicht geben. Ein breiterer Beleuchtungskegel erfordert auch größere Verschiebung. Bei der Okularbeobachtung tritt bald gewisse Übung ein, die das günstigste Verhältnis leicht finden läßt.

Die Verschiebung der Blendenöffnung ist ferner in der Weise möglich, wie dies Fig. 62 *d* zeigt. Bei der Okularbeobachtung wird man auch während dieser Drehung eine der oben beschriebenen ähnliche Veränderung des Objektbildes beobachten. Hierbei muß man eine Vorsichtsmaßregel im Auge behalten, deren Nichtbeachtung pseudostereoskopische Wirkung erzeugt. Bei einer Blendenstellung, wie sie Fig. 62 *d* veranschaulicht, sind nämlich vordere und hintere Hälfte des Gesichtsfeldes zur Beleuchtungsrichtung nicht symmetrisch gelegen: Bei Diatomeenaufnahmen würde z. B. der Schatten eines Knopfes einmal nach links oben, das andere Mal nach rechts oben fallen. Wir beurteilen aber kleine Knöpfe oder Grübchen als solche nur aus den Schattenwirkungen, welche sie zeigen. Im Mikrostereogramm kann es daher leicht geschehen, daß man bei entgegengesetzter Stellung des Bildes zur Lichtquelle das eine Mal Knöpfchen, das andere Mal Grübchen mit überraschender Schärfe zu sehen glaubt. Man muß also bei den nach Art der Fig. 62 *d* aufgenommenen Bildern oben und unten unterscheiden, was bei den nach Art der Fig. 62 *b* und *c* aufgenommenen (wo die Lichtkegel diametral stehen) nicht nötig ist. Die richtige Stellung ist, da wir beim Betrachten

a

b

c

d

e

f

62

von Bildern im Stereoskop unwillkürlich die Lichtquelle vor uns zu haben glauben, diejenige, bei der die Bilder so stehen, daß die bei der Aufnahme vorhandene Beleuchtungsrichtung im Bilde dieser Stellung der Lichtquelle entspricht.

Die in Fig. 62*e* veranschaulichte Art der Blendenstellung muß überall dort angewendet werden, wo erhebliche Schiefe der Beleuchtung notwendig ist, da in diesen Fällen diametrale Stellung der Blende (Fig. 62*f*) keine stereoskopische Wirkung zur Folge hat, weil der Winkel, den die beiden Hauptstrahlen der Kegel miteinander bilden, viel zu groß ist.

Durch vorzügliche Aufnahmen hat Gebhardt bewiesen, daß seine Methode in bezug auf Leistungsfähigkeit nichts zu wünschen übrig läßt. Das Merkwürdigste an ihr bleibt, daß es früher niemand einfiel, sich dieser einfachsten und naturgemäßesten Methode zur Herstellung von Mikrostereogrammen zu bedienen. Die bei derselben sich ergebenden Vorteile sind kurz folgende: 1. Der ganze Betrag des Lichtkegels, der überhaupt vom Objektive unter den jeweiligen Bedingungen aufgenommen wird, kann ungeschmälert zur Entstehung des Bildes beitragen, da die Objektivöffnung selbst nicht (wie dies bei Anwendung von Moitessiers halber Blende der Fall ist) verringert wird; 2. die Gründe fallen fort, welche die stereoskopische Wippe für den Gebrauch bei stärkeren Vergrößerungen unanwendbar machen, nämlich die Unmöglichkeit, überhaupt eine genaue Bewegung bei dem geringen, freien Objektabstande stärkster Objektive in genügender Weise zu bewirken, ferner die Unannehmlichkeit, stets nur einen Streifen scharf einstellen zu können und endlich die große Entfernung des Objektes vom Beleuchtungsapparate.

Auf demselben Prinzip beruht die von Scheffer[1] angegebene Einrichtung, die aber nur für ganz schwache Objektive brauchbar ist: Scheffer bringt ein kleines, an einem Stativ mit beweglichem Arm befestigtes Glühlämpchen unmittelbar unter dem Präparate, ohne Zuhilfenahme des Kondensors, an, und zwar bei der ersten Aufnahme auf der rechten, bei der zweiten auf der linken Seite des Objektes.

Will man stereoskopische Aufnahmen bewegter Objekte fertigen, so bleibt man auf die von Zeiss hergestellte Stereoskopkamera nach Drüner[2] (Fig. 63) angewiesen, welche zwei Objektive enthält. Die

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. XVIII.
Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie 1903 S. 26.

[2]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. XVII, 1900, S. 281.

zum Answechseln gegen den Doppeltubus des binokularen Statives eingerichtete Doppelkamera, deren prismatische Körper in demselben Winkel, wie die beiden Tnben gegeneinander geneigt sind, hat einen

63

Zeit- und Momentverschluß. Die Benutznng starker Objektive bleibt hierbei ausgeschlossen.

Stereoskopische Aufnahmen mit starken Objektivvergrößerungen werden stets eine schwierige und verhältnismäßig undankbare Sache bleiben. Im Auge zu behalten ist, daß sich nngefärbte Objekte hierfür

besser eignen, als gefärbte. Das Dankbarste bleiben schwache Objektivvergrößerungen, und zwar solche, die nicht mit durchfallendem, sondern mit auffallendem Lichte hergestellt werden. Wichtig ist hierbei völlig gleichmäßige Beleuchtung. Am leichtesten erzielt man letztere mit dem LIEBERKÜHNschen Spiegel[1] (s. S. 144), welcher nicht am Objektiv befestigt, sondern frei auf den Objekttisch gelegt wird. Das Licht gelangt dann von unten, neben dem Präparat vorbei, auf den Spiegel. Das aufzunehmende Objekt legt man auf einen undurchsichtigen Untergrund. An Stelle eines Spiegels kann man auch den halbkugelförmigen Hohlraum eines Gipskörpers verwenden. Man erzielt hiermit ein besonders gleichmäßiges Licht. Oben besitzt sowohl der Spiegel wie der Gipskörper eine Öffnung, damit die von dem Präparate reflektierten Strahlen znm Objektive gelangen können. —

Die wenigsten Mikrostereogramme geben eine richtige Vorstellnng von dem aufgenommenen Gegenstande: Entweder sind die Bilder zu flach, oder, was weit häufiger vorkommt, die Tiefenwahrnehmung ist übertrieben. Die richtige Wirkung der Bilder ist in erster Linie abhängig von der richtigen Neigung des Präparates oder, wo das Präparat unverändert liegen bleibt, von dem richtigen Einfall der Strahlen, beziehungsweise der richtigen Stellung des Objektives bei beiden Aufnahmen. Hierbei spielt aber noch eine Reihe anderer Faktoren eine wesentliche Rolle, z. B. die Brennweite der Linsen des Beobachtungsstereoskopes. Bei der Vorrichtung von SCHEFFER (S. 193), wo das am Stirnbrett der Kamera befestigte Objektiv bei den Aufnahmen um einen bestimmten Betrag verschoben wird, läßt sich durch die von SCHEFFER[2] berechnete Formel:

$$o = \frac{wf^2}{sb}$$

leicht feststellen, um wieviel bei der zweiten Aufnahme das Objektiv zu verschieben ist, um richtige Tiefenwirkung im Bilde zu erlangen. In dieser Formel bedeutet o die vorzunehmende Verschiebung des Objektives, f die Brennweite des Objektives, b die Bildweite, s die Brennweite der Stereoskoplinsen und w den Pupillenabstand des Beschauers, wobei ein normalsichtiger Beschauer vorausgesetzt wird. Die Verhältnisse liegen also recht verwickelt und man kann bei einer stereoskopischen Aufnahme niemals sagen, daß sie die tatsächlichen Tiefenverhältnisse unter allen Umständen richtig wiedergibt.

[1]) Spiegel dieser Art werden von FUESS in Steglitz hergestellt.
[2]) Photograph. Mitteilungen 1906 S. 465. — EDERs Jahrbuch für 1907.

9. Vorrichtungen bei Aufnahme von Eis- und Schneekristallen

Eis- und Schneekristalle können mit jedem mikrophotographischen Apparate aufgenommen werden. Es ist hierbei aber einiges zu beachten, was wir im folgenden kurz erörtern wollen.

Vor allem muß die Aufnahme im Freien geschehen, oder in einem so kalten Raume, daß die Temperatur mehrere Grade unter dem Gefrierpunkte bleibt. Bringt man die feinen Kristalle in einen Raum, der auch nur um wenige Grade wärmer ist, als die Außenluft, so zeigen dieselben große Neigung, sich zu verändern; überdies beschlägt der Objektträger, und das Präparat wird unbrauchbar.

Hält sich die Temperatur nicht mehr als 1 bis 2 Grade unter dem Gefrierpunkte, so treten unter dem Einflusse der Hand- und Körperwärme des Mikrophotographen bald Schmelzpunkte auf. Die besten Aufnahmen gelangen dem Verfasser bei einer Temperatur von mindestens — 6° C.[1] Sobald die Kristalle einige Zeit gelegen haben, frieren sie zusammen und verändern durch Verdunstung ihre Gestalt. Man fange daher frisch fallenden Schnee auf dem Objektträger auf und mache sofort die Aufnahme. Die auffallenden Kristalle haften ohne weiteres am Glase, auch wenn man den Objektträger zur Aufnahme senkrecht stellt. Einbettungsflüssigkeit und Deckglas sind nicht anwendbar. Da die Aufnahme ohne Deckglas geschieht, so wird man die hierbei mangelhafte Korrektion des Objektives durch längeren Tubusauszug auszugleichen suchen. Übrigens spielt diese Sache keine erhebliche Rolle, da immer nur schwache und mittelstarke Objektive in Frage kommen. Sehr empfehlenswert ist Dunkelfeldbeleuchtung.

Als Lichtquelle kann man zerstreutes, durch einen Spiegel auf das Präparat geworfenes Himmelslicht benutzen. Da dasselbe aber während eines Schneefalles sehr wenig wirksam ist, so wird man meist zu einer künstlichen Lichtquelle (Petroleumlicht, Gaslicht) greifen. Dies bringt insofern Unannehmlichkeiten mit sich, als selbst bei tiefster Lufttemperatur die in die Objektebene geleiteten Lichtstrahlen eine derartige Erwärmung des Präparates verursachen, daß die Kristalle zu schmelzen beginnen. Einschaltung einer mit Wasser gefüllten Absorptionsküvette wird also notwendig. Da das Wasser in der Küvette gefrieren würde, erwies sich eine Lösung von Kochsalz und

[1]) Dr. R. Neuhauss, Das Photographieren von Eis- und Schneekristallen: Photographische Rundschau 1894, Heft 1 S. 2.

Alaun als vorteilhaft. Diese Lösung bleibt je nach dem Grade ihrer Konzentration bis zu etwa — 15° C. flüssig.

Aufnahmen dieser Art fertigte zuerst A. Sigson[1] in Sibirien Anfang 1892. Er fing (aus nicht zwingenden Gründen) die Kristalle nicht auf gläsernem Objektträger, sondern auf feinem Netzwerk von Seidenkokonfäden auf. Verfasser[2] stellte eine größere Anzahl von Schneekristallaufnahmen im Dezember 1892 und Januar 1893 her. Wenige Wochen später beschäftigten sich G. Nordenskjöld[3] und Dr. A. Miethe[4] erfolgreich mit demselben Gegenstande. Miethe benutzte auch polarisiertes Licht. Im Winter 1894/1895 fertigte Hofphotograph Felix Naumann[5] in Leipzig eine Reihe vortrefflicher Schneekristallbilder. Als Lichtquelle verwendete er zerstreutes, durch einen Spiegel reflektiertes Himmelslicht.

Im Winter 1899/1900 fand Verfasser[6] abermals Gelegenheit, eine größere Reihe von Schneekristallaufnahmen herzustellen. Eine derselben gelangte auf Tafel I zur Wiedergabe.

Eine außerordentlich große Zahl von Aufnahmen dieser Art fertigte in den letzten Jahren Herm. Bentley[7] (Nashville, V. Nordamerika). Leider beeinträchtigte er den Wert seiner Bilder durch Retusche in ganz unerhörter Weise. Da nämlich seine Kristalle keine scharfen Umrisse zeigen, stellte er mit dem Federmesser willkürliche Umrisse her und entfernte durch Abkratzen die außerhalb dieser Umrisse gelegene Bildschicht. Die Kristalle erscheinen also im Positiv hell auf dunkelem Grunde, machen daher den Eindruck, als ob sie mit Dunkelfeldbeleuchtung aufgenommen wären. Verschiedene Gelehrte, welche mit der Technik der mikrophotographischen Aufnahme nicht vertraut sind, merkten von dieser Täuschung nichts und stellten in ihren Schriften die Bentleyschen Aufnahmen als

---

[1]) Journal der russischen physiko-chemischen Gesellschaft, Mai-Heft 1892; Photographische Rundschau 1894 S. 227.

[2]) Sitzungsberichte der Gesellschaft naturforschender Freunde zu Berlin. Sitzung vom 17. Januar 1893. — Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. IX, 1892, S. 324. — Photographisches Wochenblatt 1893 No. 12, 21. März, S. 93. — Prometheus 1893, No. 179. — Prof. Hellmann, Schneekristalle, Beobachtungen und Studien S. 10 u. 59. Berlin 1893, Mückenberger. — Photographische Rundschau 1894 S. 226.

[3]) Geol. Fören. in Stockholm Förhandl. Bd. XV, 1893, Heft 3 S. 146. — Comptes Rendus [Paris] 1893, 10. April S. 770.

[4]) Prometheus 1893, No. 179 und 180.

[5]) Photographische Rundschau 1895 S. 155.

[6]) Ebenda 1900 S. 31.

[7]) Ebenda 1900 S. 60.

Muster hin. Da die von Bentley angefertigten Bilder ausgezeichnet schöne Kristallformen zeigen, wie wir sie im mittleren Europa kaum je zu sehen bekommen, bleibt es doppelt bedauerlich, daß ein so schwer zu beschaffendes Bildermaterial in dieser Weise entwertet wurde. Bei zahlreichen Bildern beschränkte sich Bentley nicht darauf, die Umrisse der Kristalle zu „verbessern“; er ließ auch sein Messer bis tief in das Herz der Kristalle hineinspielen, so daß ganz willkürliche Zeichnungen entstanden.

Sechster Abschnitt

Das negative Bild

---

1. Geschichtliches

Wir wollen nicht über die ersten Versuche der Herstellung lichtempfindlicher Platten eingehend berichten. Jedes Lehrbuch der Photographie gibt hiervon Kunde. Für uns gewinnt die photographische Platte erst in dem Augenblicke Bedeutung, wo sie für mikrophotographische Aufnahmen verwendet wurde. Letzteres geschah durch Donné zu Paris im Jahre 1840, also kurz nach der Veröffentlichung des Daguerreschen Verfahrens. Die Herstellung der Platten geschah damals nach Daguerres Vorschrift folgendermaßen: Durch Räuchern in Joddämpfen wird auf einer polierten Silberplatte oder versilberten Kupferplatte eine oberflächliche Schicht von Jodsilber erzeugt. Der Lichteindruck, den eine so behandelte Platte in der Kamera annimmt, ist nicht sichtbar; sobald man jedoch die Platte Quecksilberdämpfen aussetzt, erscheint das Bild in allen seinen Einzelheiten, denn das Quecksilber schlägt sich in feinen weißen Kügelchen nur an den Stellen nieder, auf welche das Licht gewirkt hat. Das Fixieren dieser Bilder, d. h. das Unempfindlichmachen gegen weitere Lichteindrücke, geschicht durch Einlegen der Platten in eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron. Der geringen Empfindlichkeit und dem leichten Verderben der Daguerreschen Platten half Fizeau im Jahre 1841 dadurch ab, daß er die Silberplatte außer Joddämpfen auch Bromdämpfen aussetzte, dieselbe also oberflächlich in Jod- und Bromsilber verwandelte, und daß er das durch Quecksilberdämpfe entwickelte Bild durch Auftragen einer schwachen Lösung von unterschwefligsaurem Golde verstärkte.

Auf diese Weise hergestellte Platten, die ein positives Bild zeigen, lassen sich nicht kopieren. Sollte daher eine Vervielfältigung vorgenommen werden, so war man genötigt, nach dem Daguerreotyp einen Stich zu fertigen. Letzterem Übelstande half ein Verfahren ab, welches Fox Talbot in England kurz nach Daguerres Entdeckungen veröffentlichte. Talbot ließ (1840) Papier zuerst auf einem Silberbade, dann auf Jodkaliumlösung schwimmen; endlich legte er dasselbe, um die Empfindlichkeit zu erhöhen, auf eine Lösung von Gallussäure und Essigsäure mit Silbernitrat. Belichtet man ein derart präpariertes Papier an Stelle der lichtempfindlichen Platte in der Kamera, so entsteht ein latentes Bild, welches sich durch Anwendung eines Entwicklers hervorrufen und durch Bromkalium fixieren läßt. Wir erinnern daran, daß schon im Anfange des vorigen Jahrhunderts Davy in ganz entsprechender Weise mit Hilfe des Sonnenmikroskopes auf lichtempfindlichem Papier Bilder erzeugte. Leider verstand man damals nicht, das Bild festzuhalten; die überaus wichtige Sache wurde daher nicht weiter verfolgt.

Nach den Talbotschen Papiernegativen konnte jede beliebige Anzahl von Kopien gefertigt werden. Ein Übelstand machte jedoch die Erfindung für die Zwecke des Mikrophotographen beinahe völlig unbrauchbar: die faserige Beschaffenheit des Papieres ließ beim Kopieren die feinen Einzelheiten des Bildes nicht mit genügender Schärfe hervortreten.

Einen großen Fortschritt bedeutet daher die im Jahre 1847 durch Niepce de St. Victor vorgenommene Einführung von Glasplatten, die mit einer dünnen, jodhaltigen Eiweißschicht überzogen waren und durch Eintauchen in ein Silberbad lichtempfindlich gemacht wurden. Infolge seiner Durchsichtigkeit lieferte das Glasnegativ vortreffliche Positive. Weitere Vervollkommnungen brachte das Jahr 1851, wo man durch die Arbeiten von Frey und Scott Archer lernte, das Kollodium — eine Lösung von Schießbaumwolle in Äther — für die Photographie nutzbar zu machen. Man überzog Plangläser mit Kollodium, in welchem Jodsalze aufgelöst waren, tauchte diese in eine Lösung von salpetersaurem Silber und erhielt so auf der Glasplatte ein zartes, mit lichtempfindlichem Jodsilber getränktes Häutchen, welches in der Kamera belichtet, darauf entwickelt und fixiert Negative von außerordentlicher Feinheit und Schärfe gibt. Das Kollodiumverfahren beherrschte die Photographie bis ungefähr 1880. Freilich haftete demselben der für den Mikrophotographen äußerst lästige Fehler an, daß die vor jeder Aufnahme frisch zu bereitenden nassen Platten bei längeren Expositionen in der Kassette trockneten und

hierdurch unbrauchbar wurden. Um ein vorzeitiges Trocknen zu verhüten, kamen verschiedene Methoden in Anwendung: Zusatz hygroskopischer Salze zum Silberbade, Überziehen der fertig präparierten Platte mit Honig, Glyzerin, Leinsamenschleim, Auflösung von Gelatine usw.; doch waren dies Hilfsmittel, die entweder die Schönheit der Bilder beeinträchtigten oder den gerügten Fehler nur unvollkommen beseitigten. Das Bestreben der Forscher richtete sich deshalb darauf, lichtempfindliche trockene Platten herzustellen, welche ihre Eigenschaften einige Zeit unverändert bewahren. Den ersten Schritt auf diesem Wege tat 1855 Desprats, welcher fand, daß ein mit geringem Harzzusatz versehenes Kollodium durch Abwaschen nach der Sensibilisierung zur trockenen Anwendung geeignet werde. Weitere Vervollkommnungen brachte das Kollodium-Albuminverfahren von Taupenot (1855): Die wie gewöhnlich kollodionierte und in einem essigsauren Silberbade sensibilisierte Glasplatte wird sorgfältig abgewaschen, mit jodiertem Eiweiß überzogen und getrocknet. Eine so präparierte, nicht lichtempfindliche Platte läßt sich lange unverändert aufbewahren. Einige Tage vor dem Gebrauch wird sie im essigsauren Silberbade sensibilisiert und getrocknet. Wegen größerer Unempfindlichkeit muß jedoch die Belichtung etwa 2- bis 3mal so lange dauern, als bei dem nassen Verfahren. Die Kollodium-Albuminplatten zeigen außerordentlich feines Korn und fanden daher besonders bei nachträglicher Vergrößerung der Negative Verwendung.

Erhebliche Fortschritte machte das Trockenverfahren durch die Arbeiten des Major Russel (1862), welcher im Tannin ein vortreffliches Mittel entdeckte, den Platten ihre Lichtempfindlichkeit zu bewahren: Die Scheiben werden in gewohnter Weise mit jodiertem Kollodium übergossen, in das Silberbad gebracht, nach sorgfältigem Abspülen mit einer 4prozentigen Tanninlösung übergossen und im Dunkeln getrocknet; so präpariert bewahren sie ihre Lichtempfindlichkeit länger als einen Monat.

Die große Unempfindlichkeit aller haltbaren Kollodiumplatten verwies den Mikrophotographen auf beinahe ausschließliche Benutzung des Sonnenlichtes. Daher sah man sich — in unseren Breiten wenigstens — vielfach genötigt, auf das umständliche nasse Verfahren zurückzugreifen.

Mit einem Schlage änderte sich die Sache, als im Jahre 1878 in der Gelatine ein in jeder Beziehung zufriedenstellender Ersatz für das bis dahin fast ausschließlich als Bildträger benutzte Kollodium gefunden wurde. Das Verfahren beruht im wesentlichen auf der Silberung einer bromalkalihaltigen Gelatineauflösung. Hierdurch ent-

steht eine fälschlich Emulsion[1] genannte Schüttelmixtur, in welcher Bromsilber fein verteilt ist. Diese hochgradig lichtempfindliche Flüssigkeit wird auf Glasplatten gegossen, die getrocknet und bis zum Gebrauch in gut verschlossenen Behältern aufbewahrt, jahrelang brauchbar bleiben.

Die Bromsilbergelatine-Trockenplatten brachten in der Mikrophotographie gewaltige Umwälzungen hervor. Nunmehr konnte der Mikrophotograph seine ganze Aufmerksamkeit auf das Mikroskop richten, die Arbeit jederzeit unterbrechen und im geeigneten Augenblicke wieder aufnehmen. Das war früher anders: Hatte man alles zur Aufnahme vorbereitet und die Kollodiumplatte sensibilisiert, so mußte wohl oder übel sofort belichtet werden, gleichgültig, ob die Sonne begann sich hinter Wolken zu verstecken oder ob vorüberfahrende Lastwagen den Apparat unaufhörlich in Schwingungen versetzten. Ein Abwarten von nur wenigen Minuten genügte, um den Erfolg in Frage zu stellen. Weitere, unschätzbare Vorteile brachte die hohe Empfindlichkeit der neuen Platten. Erst jetzt traten die künstlichen Lichtquellen in ihre vollen Rechte, auch diejenigen, welche wie die Gas- und Petroleumlampe früher nur zu vereinzelten, schüchternen Versuchen herhielten.

Entsprachen die Erfolge den Erwartungen, welche man gerechterweise an eine so bedeutsame Vereinfachung des Verfahrens knüpfte? Nein. Denn nunmehr stürzte sich ein Heer von Unberufenen auf die Mikrophotographie, welche nichts Eiligeres zu tun hatten, als „neue“ Apparate zu erfinden. Bis zu Negativen brachten es die wenigsten, und diese wenigen entblödeten sich nicht, ihre unscharfen, verschleierten Erzeugnisse zu veröffentlichen. Mancher Gelehrte mochte im Hinblick auf die vorzüglichen, nach nassem Verfahren hergestellten Aufnahmen von C. Günther, G. Fritsch und R. Koch das Jodsilber-Kollodium-Zeitalter zurückwünschen.

Teils aus Liebhaberei, teils aus Sparsamkeitsrücksichten fertigen einige Mikrophotographen ihre Trockenplatten selbst. Das Verfahren ist keineswegs so schwierig und umständlich, daß es ein Geschickter nicht erlernen und ausüben könnte. Dennoch muß hiervor entschieden gewarnt werden; die Schwierigkeiten, ein gleichmäßiges Fabrikat zu erzeugen, sind nicht geringfügig; sie treten um so mehr hervor, je kleiner der Betrieb ist. Gleichmäßigkeit der Ware bleibt aber

[1]) Unter Emulsionen versteht man Flüssigkeiten, in denen kleinste Fettkügelchen gleichmäßig verteilt sind. Davon ist in vorliegendem Falle keine Rede.

Haupterfordernis für das Gelingen guter Aufnahmen. Man vermehre daher die ohnehin reichlich vorhandenen Schwierigkeiten nicht unnötig durch Verwendung unzuverlässiger Platten.

Die gewöhnlichen Bromsilberplatten zeigen hohe Empfindlichkeit für die dem violetten Ende des Spektrums nahe liegenden Farben, geringe dagegen für Gelb und Rot. Das wird unbequem bei Verwendung solcher Lichtquellen, wo Gelb vorherrscht, und bei Aufnahme von blau und violett gefärbten Präparaten. In letzterem Falle wirken nämlich die gefärbten Gewebe, Bakterien und dergl. auf die Platte kaum minder kräftig, als der helle Untergrund, und es fehlen deshalb die Vorbedingungen zum Zustandekommen eines Bildes.

Diesen Übelständen half man ab durch Herstellung von Platten, welche auch für Gelb und Rot empfindlich sind. Setzt man nämlich nach dem Vorgange von Vogel bestimmte Farbstoffe zum Jodsilber oder Bromsilber hinzu, so wird die Empfindlichkeit der Platten für gewisse Strahlen wesentlich erhöht, und zwar am meisten für diejenigen, welche durch den zugesetzten Farbstoff verschluckt werden.

Man nannte derart hergerichtete Platten ‚farbenempfindliche‘ oder ‚orthochromatische‘. Durch das Wort ‚farbenempfindlich‘ wird vielfach die Vorstellung erweckt, als handle es sich um Platten, welche die natürlichen Farben wiederzugeben imstande sind. ‚Orthochromatisch‘ d. h. ‚rechtfarbig‘ soll andeuten, daß diese Platten die verschiedenen Farben in derselben oder annähernd derselben Helligkeit wahrnehmen, wie die Netzhaut des Auges. In jedem Falle tut man am besten, eine Platte als rot-, gelb- oder grünempfindlich zu benennen, wenn dieselbe *neben* Blau und Violett auch Rot, Gelb oder Grün in hervorragendem Maße wahrnimmt.

Zur Färbung der Platten wurden durch Vogel, Eder, Valenta, Miethe u. a. Tausende von Farbstoffen geprüft; doch fanden nur wenige Eingang in die Praxis. Für den Mikrophotographen bleibt Erythrosin am wichtigsten. Dasselbe verleiht den Platten hohe Empfindlichkeit für Gelbgrün, also für diejenigen Strahlen, welche auch von dem Auge als sehr hell empfunden werden. Durch Benutzung der Erythrosinplatte in Verbindung mit einem gelben oder gelbgrünen Lichtfilter (s. S. 70) kann der Mikrophotograph Objektive für seine Zwecke brauchbar machen, welche infolge der ihnen anhaftenden Fokusdifferenz mit gewöhnlichen Platten völlig unbrauchbar sind. In 99 Prozent aller Fälle kommt man in der Mikrophotographie mit der Erythrosinplatte vollständig aus. Nur wenn es sich darum handelt, bei rot gefärbten Objekten mehr Einzelheiten im Bilde zu erhalten, oder wenn eine gelbgrüne Präparatfärbung allzusehr über-

einstimmt mit der Grünempfindlichkeit der Platte, so daß es schwer sein würde, Gegensätze im Bilde zu bekommen, oder wenn man Dreifarbenaufnahmen machen will, wird sich der Wnnsch nach gesteigerter Rotempfindlichkeit der Platte regen. Trotz aller Fortschritte, welche in den letzten Jahren auf diesem Gebiete gemacht wurden, ist es nun mit der Rotempfindlichkeit unserer Platten noch trübe bestellt. Die Grenze liegt im Gelbrot, während reines Rot nur bei nngewöhnlich lange fortgesetzter Belichtung auf der Platte einen Eindruck hinterläßt. Den reklamehaften Anpreisnngen der Fabrikanten mnß man anf diesem Gebiete mit dem größten Mißtranen begegnen. Die allerwärts veröffentlichten Spektralaufnahmen, welche den Beweis von der hohen Rotempfindlichkeit der Platten erbringen sollen, wurden mit dem Prismaspektrographen gefertigt, welcher nach dieser Richtung hin irreführende Resultate liefert; denn hier ist die rote Zone gegenüber der blauen und violetten auf ein enges Gebiet zusammengedrängt. Nur der Gitterspektograph gibt einwandsfreien Aufschluß; derselbe lehrt aber, daß es mit der Rotempfindlichkeit auch bei den besten sogenannten panchromatischen Platten noch schwach bestellt ist.

Die branchbarsten, jetzt bekannten Rotsensibilisatoren sind Äthylrot, Orthochrom und Pinachrom, drei Farbstoffe, welche znr Cyaningruppe gehören.

Der Farbstoff läßt sich auf zwei Weisen der Bromsilbergelatine znführen: Entweder durch Färben der Emulsion vor dem Gießen der Platten oder durch Baden der fertigen, trockenen Platten vor dem Gebranch in einer Lösung des Farbstoffes. Beide Methoden haben ihre Vorteile: Die Färbnng der Emnlsion wird vom Fabrikanten ausgeführt und enthebt den Mikrophotographen aller weiteren Vorbereitungen. Anch ist die Haltbarkeit größer, als diejenige der Badeplatten. Bei letzteren fällt dagegen ins Gewicht, daß man sie sich jederzeit aus irgend einer klar arbeitenden Trockenplatte leicht selbst herstellen kann. Daß, wie behauptet wurde, allein die in der Emnlsion gefärbten Platten hart arbeitend herzustellen sind, kann Verfasser nicht zugeben; auch Badeplatten arbeiten hart, wofern man geeignete Plattensorten hierfür verwendet.

Mehrere Firmen bringen in der Emulsion gefärbte, gelbempfindliche Platten in den Handel, z. B. die Aktiengesellschaft für Anilinfabrikation in Berlin nnd O. Perutz in Münehen, deren Eosinsilberplatten dem Mikrophotographen anfs wärmste zn empfehlen sind. Dieselben werden übrigens nicht mit Eosin, sondern mit Erythrosin sensibilisiert.

Will man sich die Platten selber sensibilisieren, so verfährt man folgendermaßen: Als Vorrat dient eine Lösnng von 1 g Erythrosin (von Schuchardt in Görlitz) anf 500 ccm Alkohol von 95 %.

Zum Bade mische man 200 ccm destilliertes Wasser, 5 ccm Erythrosinlösung und filtriere zur Abhaltung von Staubpartikelchen. Hierin werden — natürlich in der Dunkelkammer — die Platten 60 bis 70 Seknnden unter steter Bewegung der Schale gebadet; dann läßt man dieselben zehn Minnten auf Fließpapier ablanfen und stellt sie entweder frei auf einem Negativständer oder im Trockenkasten auf. Das Trocknen hat im völlig dnnkelen Ranme zu geschehen nnd beansprucht je nach der Temperatur verschieden lange Zeit; im Sommer genügen wenige Stunden, im Winter ist mitunter ein ganzer Tag erforderlich. Als Trockenkasten läßt sich jede große, mit schwarzem Stoff überzogene Kiste verwenden.

Setzen sich während des Badens und Trocknens Staubteilchen anf der Platte fest, so erscheinen nach der Entwicklung im Negativ kleine helle Pünktchen und Striche.

Die getrockneten Badeplatten halten sich gut aufbewahrt etwa sechs Wochen; dann tritt beim Entwickeln Neigung zu Randschleier und zn allgemeiner Verschleierung auf. Setzt man Ammoniak zum Bade hinzu, so erhöht sich dadnrch die Empfindlichkeit bedeutend; da aber dann die Platten kaum länger als einen Tag haltbar bleiben, so können wir diese Methode dem Mikrophotographen nicht empfehlen.

Dnrch Erythrosin erlangt die Platte hohe Empfindlichkeit besonders für gelbgrüne Strahlen von Wellenlänge 560. Ihre Empfindlichkeit für die letzteren ist bei dem an gelbgrünen Strahlen reichen, an blauen armen Petrolenmlicht 6 bis 8 mal so groß, als für blane. Benutzt man daher Petroleumlicht als Lichtquelle, so wird sich selbst ohne Filter bei Systemen mit Foknsdifferenz letztere kaum geltend machen, da man mit denjenigen Strahlen für das Ange scharf einstellt, welche auch die Platte als die hellsten empfindet. Bei andern Lichtquellen tut man gut, die blanen und violetten Strahlen durch Filter auszuschalten, wofern das System nicht frei von Fokusdifferenz ist.

Wie bereits oben bemerkt, geben Äthylrot und besonders Pinachrom bessere Empfindlichkeit für gelbrote nnd hellrote Strahlen. Hier sind Badeplatten den in der Emulsion gefärbten Platten vorzuziehen. Die Vorschrift für Pinachrom lantet: Schleierfrei arbeitende Platten werden im Dunkeln 3 bis 4 Minuten in nachfolgender Lösung gebadet:

Destilliertes Wasser	200	ccm
Ammoniak	2	„
Alkoholische Pinachromlösung (1 : 1000)	4	„

Dann werden die Platten in fließendem oder mehrmals gewechseltem Wasser 2 bis 3 Minuten ausgewaschen und im Dunkeln möglichst schnell getrocknet.

Da man in der Mikrophotographie mit großen Helligkeitsgegensätzen arbeitet, bei denen bekanntlich die Neigung zur Bildung von Lichthöfen groß ist, wurde empfohlen, stets lichthoffreie Platten zu verwenden, wie solche z. B. von der Aktiengesellschaft für Anilinfabrikation als „Isolarplatten" in ausgezeichneter Güte hergestellt werden. Man kann auch durch Hinterkleidung der Platten (z. B. mit einer Mischung von 5 g Aurin, gelöst in 10 ccm warmem Alkohol und zu 30 ccm Rohkollodium hinzugefügt; dem Ganzen dann noch 0,4 ccm Rizinusöl hinzugesetzt) jede Platte in eine lichthoffreie verwandeln. Die Gefahr der Lichthofbildung ist jedoch in der Mikrophotographie an sich gering, denn infolge großer Länge der Kamera fallen die Strahlen beinahe senkrecht auf die Platte; der an der Rückseite reflektierte Strahl trifft die Bildschicht wieder fast genau an der Stelle, an der er durch dieselbe hindurchgegangen ist. Außerdem wird durch die Rotfärbung der Schicht bei Erythrosinplatten die Lichthofbildung auf ein Mindestmaß herabgesetzt, denn in der rotgefärbten Schicht verlieren die Strahlen ihre chemische Wirksamkeit; das von der Rückseite des Glases reflektierte Licht ist rot, und man hat annähernd dieselben Verhältnisse, als ob man die Rückseite mit Antisol oder dergleichen bestrichen hätte. Aus diesen Gründen kann der Mikrophotograph in der Regel lichthoffreie Platten entbehren.

Seit langen Jahren ist man bemüht, die schwere, zerbrechliche Glasplatte durch leichtes, dauerhaftes Material zu ersetzen. So hoch die hierdurch gebotenen Vorteile auch für Reisen, Ballonaufnahmen und dergl. sind, hat die Sache für den Mikrophotographen doch nur in dem Falle Wert, wo es sich um Reihen-Momentaufnahmen handelt (s. S. 171). Hier kommen nur durchsichtige Films in Frage, da Negativpapier wegen seines Korns für mikrophotographische Zwecke nicht brauchbar ist. Die Films müssen natürlich durch Baden in Erythrosin für gelbgrüne Strahlen sensibilisiert werden, wofern nicht bereits die Emulsion Farbstoffzusatz erhielt.

Wallenberg[1] empfiehlt, die Aufnahme statt auf Platte, Film oder hochempfindlichem Negativpapier auf gewöhnlichem Celloïdinpapier zu machen, besonders in den Fällen, wo es sich, wie bei Hirnschnitten, nur um schwächste Vergrößerung und schematische Bilder handelt.

---

[1]) Internationale photographische Monatsschrift für Medizin Bd. III, 1896, S. 209.

Wegen der großen Unempfindlichkeit dieses Papieres muß man den Apparat direkt gegen die Sonne richten. Aus letzterem Grunde und wegen der sonst damit verbundenen Nachteile wird dieser Ersatz der Platte kaum Freunde finden.

Sollen die Aufnahmen in Lichtdruck vervielfältigt werden, so geben Abziehplatten wesentlich bessere Resultate, als gewöhnliche Platten. Im Notfalle kann man durch folgendes Verfahren die Bildschicht gewöhnlicher Platten vom Glase ablösen: Man badet das abzuziehende Negativ 10 Minuten in Formalin, welches mit der 15fachen Menge Wasser verdünnt wurde. Hierauf läßt man abtropfen, trocknen und übergießt die Platte mit Rohkollodium, dem 2proz. Rizinusöl zugesetzt ist. Sobald das Kollodium erstarrt ist, wäscht man aus, schneidet die Schicht mit scharfem Messer 2 mm vom Rande rings herum ein, entfernt die anhaftenden Wassertropfen mit Filtrierpapier und zieht die Schicht vom Glase ab. Die abgezogene Haut kommt in folgendes Bad: Glyzerin 50 ccm, Alkohol 50 ccm, Wasser 1 l. Hierauf trocknet man auf demselben Glase, von welchem die Schicht abgezogen wurde, jedoch mit der Kollodiumschicht gegen die Glasseite. Nach dem Trocknen wird das Bild abermals mit Kollodium übergossen und dann abgezogen.

Man erreicht auf diese Weise, daß die abgezogene Schicht die ursprüngliche Bildgröße beibehält.

---

2. Die Belichtung

Vor dem Einschieben der mit lichtempfindlicher Platte geladenen Kassette überzeuge man sich davon, daß die Einstellung tadellos ist. Die wichtigste Stelle im Präparat muß sich in der Mitte des hellen Lichtkreises auf der Visierscheibe befinden. Bei schwachen Objektiven erreicht man unschwer gleichmäßige Schärfe von Rand bis zu Rand, bei starken hat man sich mit scharfer Mitte zu begnügen. Größtmögliche Schärfe ist erzielt, wenn bei geringfügigster Drehung der Mikrometerschraube die Umrisse sofort verwaschener werden. Bei starker Wölbung des Gesichtsfeldes erweist es sich mitunter als zweckmäßig, nicht genau auf die Mitte, sondern auf die zweite Zone scharf einzustellen, um ausgedehntere Abschnitte des Objektes im Bilde scharf zu erhalten. Doch darf man hierbei nicht zu weit gehen, weil hochgradige Unschärfe der Mitte einen ungünstigen Eindruck macht. Stellt

man auf die zweite Zone scharf ein, so muß die wichtigste Stelle des Präparates in dieser Zone gelegen sein. Wenn irgend möglich, richtet man es bei beabsichtigter Unschärfe der Mitte so ein, daß, was bei Bakterienpräparaten häufig keine Schwierigkeiten bereitet, die Mitte frei bleibt.

Nachdem alles zur Aufnahme vorbereitet und die lichtempfindliche Platte in der Dunkelkammer in die Kassette eingelegt ist, schiebt man letztere nach Herausnahme der Visierscheibe in den hierfür hinten an der Kamera angebrachten Rahmen. Sind Kamera und Mikroskop auf demselben Brette befestigt, so hat dies Einschieben mit größter Vorsicht zu geschehen, weil sonst, zumal beim Arbeiten mit starken Objektiven, infolge der sich auf das Mikroskop fortpflanzenden Erschütterungen die feine Einstellung leidet. Verfasser hatte wiederholt Gelegenheit, zu beobachten, daß bei derartigen mikrophotographischen Apparaten, besonders dann, wenn Tubus und Kamera fest oder durch einen straffen, lichtdichten Ärmel verbunden waren, eine gute Aufnahme niemals gelang, weil selbst bei äußerster Behutsamkeit die Einstellung sich änderte. Ruhen Kamera und Mikroskop auf gesonderten Tischen und verbindet die in Fig. 12 auf Seite 20 dargestellte Vorrichtung beide Teile, so sind besondere Vorsichtsmaßregeln beim Einschieben der Kassette und Aufziehen des Schiebers nicht zu beobachten.

Vor dem Öffnen des Kassettenschiebers verdunkelt man das Gesichtsfeld durch Einschaltung einer geschwärzten Pappscheibe zwischen Beleuchtungsapparat und Lichtquelle. Unterläßt man dies, so würde, abgesehen von den während des Öffnens und Schließens des Schiebers unvermeidlichen Erschütterungen der Kamera die eine Hälfte der Platte länger dem Lichte ausgesetzt sein, als die andere. Die verdunkelnde Pappscheibe steht frei auf der optischen Bank, ohne irgendeine der zur Beleuchtung dienenden Vorrichtungen zu berühren. Man glaube nicht, daß, selbst wenn die Aufnahme im hellen Zimmer geschieht und zwischen Pappscheibe und Objekttisch sich ein ansehnlicher Zwischenraum befindet, irgendwelches Licht in das Objektiv gelangen kann. Ist die Pappscheibe weiß und wird sie von der Mikroskopseite aus hell erleuchtet, so wirkt sie allerdings als Lichtquelle.

Soll die Exposition beginnen, so nimmt man die Pappscheibe fort, um sie zur Beendigung derselben wieder an ihren alten Platz zu setzen. Darauf ist der Kassettenschieber zu schließen.

Unmittelbar nach dem Einschieben der Kassette deckt man über die Kamera ein schwarzes Tuch und entfernt dasselbe nicht eher, bis

die Kassette in die Dunkelkammer zurückgebracht wird. Dies bietet den besten Schutz gegen unwillkommenes Nebenlicht, welches besonders bei alter und wenig sorgfältig gearbeiteter Kassette und Kamera leicht seinen Weg auf die Platte findet.

Hat man alle Vorsichtsmaßregeln aufs peinlichste befolgt und entwickelt nun die Platte, so ist man nicht selten davon überrascht, statt des scharf gezeichneten ein völlig verwaschenes Bild erscheinen zu sehen. Das kann zwei Ursachen haben: Entweder wurde der Apparat erschüttert, oder die Einstellung änderte sich während der Belichtung infolge von Verziehen des Mikroskopes. Ersteres macht sich bei kurzen, letzteres bei langen Belichtungen am meisten bemerkbar.

Es zeugt von geringer Sachkenntnis, wenn man, wie dies oft geschah, behauptet, daß Erschütterungen bei kurzer Exposition wenig schaden. Dauert die Belichtung eine Sekunde und wurde während dieser Zeit durch einen vorüberfahrenden Wagen der Apparat in Schwingungen versetzt, so ist die Aufnahme unrettbar verloren; bei minutenlanger Exposition ist dagegen eine wenige Sekunden anhaltende Erschütterung belanglos. Arbeitet man daher mit Sonnenlicht oder einer anderen sehr kräftigen Lichtquelle, so muß zur Exposition durchaus ein ruhiger Augenblick abgewartet werden. Bei längeren Belichtungen unterbricht man durch Einschaltung der Pappscheibe zwischen Objekt und Lichtquelle die Exposition, sobald Erschütterungen auftreten, und erhellt das Gesichtsfeld erst wieder nach Eintritt völliger Ruhe. Dies kann während jeder Aufnahme beliebig oft wiederholt werden, nur darf hierdurch weder Verlängerung noch Verkürzung der beabsichtigten Belichtung stattfinden.

Mag man Sekunden oder Minuten belichten, auf jeden Fall ist es dringend nötig, während dieser Zeit neben dem Mikroskop auf einem Stuhl Platz zu nehmen. Sonst würde der Mikrophotograph Gefahr laufen, selbst Veranlassung von Erschütterungen zu werden. Abgesehen davon, daß der Anfänger während der Belichtung in der Regel vor Aufregung zittert, fällt es auch dem Ruhigsten schwer, stehend seine Gleichgewichtslage unverändert beizubehalten, um so mehr, als er den Arm ausstrecken muß, um den Pappschirm zu ergreifen und wieder hinzusetzen. Beim Sitzen liegen die Verhältnisse günstiger. Nur bei sehr langen Belichtungen wird man möglichst behutsam das Zimmer verlassen und zur Beendigung der Exposition ebenso vorsichtig in dasselbe zurückkehren.

Die zweite Ursache des Verderbens von Aufnahmen, das Verziehen des Mikroskopes während der Belichtung, ist recht störend bei

allen mikrophotographischen Arbeiten, wo es sich nicht um schwache Objektivvergrößerung und ganz kurze Expositionen handelt. Ihren Grund hat diese Erscheinung in der Schwere des Tubus, welcher in wagerechte Lage gebracht seine ihm angewiesene Stellung nicht genau innehält und hierdurch den Abstand zwischen Objekt und Präparat verändert. Bei großen und schweren Stativen macht sich das Verziehen mehr bemerkbar, als bei kleinen und leichten. Dem Übelstande ist nur durch besonders stabile Stative abzuhelfen.

Zu berücksichtigen ist auch, daß der Druck, den die Tischfedern auf den Objektträger ausüben, kurz nach dem Auflegen des Präparates kleine Lageveränderungen des Objektes herbeiführen kann.

Eine Folge des Verziehens ist, daß, wenn man scharf auf der Visierscheibe eingestellt hat, schon nach einigen Minuten die Schärfe zu wünschen übrig läßt. Am auffallendsten tritt dies in die Erscheinung bei Verwendung starker Objektive und kurz nach dem Umlegen des Mikroskopes. Nach einiger Zeit kommt das Stativ zur Ruhe und die Einstellung ändert sich dann nicht mehr, wofern nur die Temperatur des Raumes gleichmäßig bleibt. In den meisten Fällen genügt Abwarten einer halben Stunde; man mache es sich jedoch zur Regel, niemals früher zu exponieren, bevor nicht die Einstellung während der Zeit sich unverändert hält, die zur Belichtung in Aussicht genommen wird. Mitunter ist das für den Mikrophotographen eine harte Geduldsprobe, — es ist nicht die einzige. Geduld bleibt bei mikrophotographischen Arbeiten erste Vorbedingung. Nach zehn mißlungenen Aufnahmen lasse man es sich nicht verdrießen, zum elften Male zu exponieren; vielleicht wird dann die Platte brauchbar, welche das Dutzend voll macht.

Daß nach längerem Stehen tatsächlich völlige Unveränderlichkeit der Einstellung eintritt, hatte Verfasser Gelegenheit, an einem Versuche zu erproben: Es handelte sich um Aufnahme von Amphipleura pellucida bei Petroleumlicht mit gewöhnlicher Bromsilberplatte. Die Diatomee lag in dunkelgrünem Medium eingebettet; bei der geringen Empfindlichkeit der verwendeten Platte mußte volle sechs Stunden belichtet werden. Das Resultat war ein tadellos scharfes Negativ[1]. Allerdings hatte der Apparat vor Beginn der Exposition unter wiederholter Kontrolle der Einstellung drei Stunden gestanden.

---

[1]) Die Aufnahme geschah mit Apochromat-Ölimmersion von Zeiss, 2 mm Brennweite, 1,40 Ap., welche gegen geringste Änderungen im Objektivabstande überaus empfindlich ist.

Bei langen Belichtungen ist für gleichmäßige Temperatur des Arbeitszimmers Sorge zu tragen; eine Änderung um mehrere Grad während der Exposition hat Längenveränderung der Metallteile zur Folge, welche für die Bildschärfe verderblich wird. Aus diesem Grunde darf man auch eine Petroleum- oder Gasflamme nicht nahe dem Objekttisch aufstellen, weil sich das Stativ allmählich erwärmen würde.

Hat man eine Aufnahme vollendet und entfernt man durch einige Drehungen der Mikrometerschraube den Tubus ein wenig vom Objekttisch, um die Präparate auszuwechseln, so verstreicht wiederum einige Zeit, bis der Tubus in seine Ruhelage eingetreten ist. Um diese Zeit nicht unnötig zu verlängern, empfiehlt es sich, beim Auswechseln das Mikroskop in wagerechter Stellung zu belassen.

Die zur Durcharbeitung eines kräftigen Negatives notwendige Belichtungszeit ist von verschiedenen Umständen abhängig: Zuerst spielt die Empfindlichkeit der Platten eine Hauptrolle. Wie verlockend es auch sein mag, zur möglichsten Abkürzung der Exposition recht hochempfindliche Platten zu wählen, so sprechen doch gewichtige Gründe gegen ein solches Verfahren. Mit Steigerung der Empfindlichkeit wächst die Weichheit, um nicht zu sagen Flauheit der Negative. Man erhält aber in der Mikrophotographie mit hart arbeitenden Platten stets bessere Resultate. Es gibt Mittel und Wege, zu große Härte zu vermeiden; in flau arbeitende Platten Kraft hinein zu bringen, bleibt vergebliche Mühe; man erhält bei ihnen als Endresultat jene grau in grau gehaltenen Bilder, welche für die aufgewendete Zeit und Arbeit niemals entschädigen. Überdies pflegt mit hochempfindlichen Platten grobes Korn Hand in Hand zu gehen, durch welches die Bilder ein unangenehmes, sandiges Aussehen bekommen, zumal wenn nachträgliche Vergrößerung des Negatives vorgenommen wird. Man wählt daher am besten hart arbeitende Platten von mittlerer Empfindlichkeit.

Daß ferner die Art der Lichtquelle, ihre Kraft und ihr Reichtum an Strahlen, für welche die verwendete Platte hervorragende Empfindlichkeit besitzt, für die Expositionszeit von wesentlichster Bedeutung ist, braucht kaum besonders erwähnt zu werden. Direktes Sonnenlicht gestattet unter allen Umständen, mag man mit blau-, gelb- oder rotempfindlichen Platten arbeiten, die kürzeste Exposition. Diejenigen Lichtquellen, welche wie Magnesiumlicht die Einschaltung einer matten Scheibe wünschenswert machen, büßen durch diesen Umstand viel von den Vorzügen ihrer Intensität ein. Die bei Petroleumlicht unter Anwendung der Erythrosinplatte notwendigen Expositionen

sind bei gewöhnlichen Verhältnissen unter keinen Umständen so lang, daß die Anwendbarkeit dieser Lichtquelle hierdurch in Frage gezogen würde. Selbst bei Bakterienaufnahmen in tausendfacher Vergrößerung belichten wir bei Petroleumlicht kaum je länger als 4 Minuten.

Daß die Helligkeit des Gesichtsfeldes und demnach die Länge der Exposition von der Breite des zur Beleuchtung verwendeten Lichtkegels abhängt, wurde in Abschnitt IV auseinandergesetzt. Leider ist es nicht statthaft, zum Zwecke möglichst kurzer Belichtung die Breite des Beleuchtungskegels beliebig zu vergrößern, da, wie wir sahen, verschiedene Präparate verschieden breite Kegel erfordern.

Die Länge der Belichtungszeit ist auch abhängig von dem Grade der Vollkommenheit, welcher in der Korrektion der Objektive erreicht ist. Gut korrigierte Systeme vereinigen mehr Lichtstrahlen in einem Punkte des Bildes, als schlecht korrigierte. Abgesehen von dem genauen Zusammenfallen der verschiedenen Spektralfarben vereinigen sich bei sorgfältig verbesserten Linsen die Randstrahlen, welche bei mangelhafter Korrektion selbständige Bilder erzeugen, mit den zentralen Strahlen zu einem Bilde. Aus diesem Grunde gestatten die Apochromate bei gleicher Vergrößerung kürzere Belichtung, als Systeme älterer Konstruktion.

Von weittragendstem Einfluß auf die Expositionszeit ist die Beschaffenheit der Präparate: ihre Dicke und die Kraft ihrer Färbung. Sehr dicke und dunkel, besonders mit roten oder braunen Farbstoffen gefärbte Objekte, erfordern zumeist ungewöhnlich lange Belichtung, Gewebsschnitte eine wesentlich längere, als Deckglas-Trockenpräparate.

Bei Anwendung derselben Objektive wächst unter sonst gleich bleibenden Nebenumständen die Länge der Belichtungszeit bei zunehmender Vergrößerung im quadratischen Verhältnis, gleichgültig, ob die stärkere Vergrößerung herbeigeführt wird durch längere Kamera oder durch stärkeres Projektionsokular. Wird daher die Platte bei tausendfacher Vergrößerung in 3 Minuten gut durchgearbeitet, so erheischt eine zweitausendfache 9 Minuten.

Aus obigem erhellt, daß die richtige Bestimmung der Expositionszeit eine schwierige Sache ist, um so schwieriger, je stärkeren Schwankungen die Helligkeit des Lichtes unterliegt. Bei der gleichmäßigen Helligkeit des Petroleumlichtes oder anderer, ähnlicher Lichtquellen verfährt der Mikrophotograph wie der Artillerist beim Schießen: Zuerst zu kurz, dann über das Ziel hinaus; der dritte Schuß mit Sicherheit ein Treffer.

Ist man über die Länge der Belichtungszeit im unklaren, so empfiehlt es sich, bei der ersten Aufnahme lieber zu kurze, als zu

lange Zeit zu belichten. Dem Geübten fällt es nicht schwer, aus dem Erscheinen des Bildes bei der Entwicklung zu beurteilen, um wie viel die Exposition zu kurz war. Aus einer überexponierten Platte, wo das Bild im Entwicklungsbade sofort unter einem grauen Schleier verschwindet, läßt sich das Maß der Überlichtung schwer bestimmen.

Durch lange Übung erwirbt sich der Mikrophotograph gewisse Fertigkeit, aus der Helligkeit des Bildes auf der matten Einstellscheibe — auf der durchsichtigen Scheibe sieht das unbewaffnete Auge überhaupt nichts — einen Schluß auf die notwendige Belichtungszeit zu ziehen. Der Anfänger kann hierbei gröbsten Irrtümern nicht entgehen. Ein mit Sonnenlicht unter Einschaltung einer dunkelblauen Absorptionsflüssigkeit beleuchtetes Objekt erscheint in zweitausendfacher Vergrößerung auf der Visierscheibe sehr dunkel und erfordert doch nur wenige Sekunden Belichtung, während bei Beleuchtung mit Petroleumlicht, ohne Filter, trotz scheinbar größerer Helligkeit vielleicht 100 mal so lange exponiert werden muß. Der Geübte berücksichtigt neben der absoluten Helligkeit die große Reihe der mitwirkenden Nebenumstände und bildet daraus sein Urteil; der Anfänger schätzt nur nach dem Eindruck auf der Netzhaut und irrt sich gründlich.

Benecke[1] erdachte ein ebenso einfaches wie sinnreiches Verfahren, durch welches man bei gleich bleibender Intensität des Lichtes die für jedes Präparat günstigste Expositionszeit mit Leichtigkeit auf einer einzigen Platte ermitteln kann: Man exponiert beide Hälften einer Platte verschieden lange. Zu dem Behufe wird die Kassette wie gewöhnlich in den Apparat eingeschoben, ihr Schieber halb geöffnet und die zwischen Objekttisch und Lichtquelle aufgestellte Pappscheibe für eine bestimmte Zeit, z. B. 10 Sekunden, fortgenommen und dann wieder vorgesetzt. Darauf öffnet man den Schieber der Kassette ganz und läßt das Licht abermals 10 Sekunden einwirken. Die eine Hälfte der Platte hat dann 10 Sekunden Licht empfangen, die andere 20. Natürlich kann man bei Anwendung größerer Platten durch immer weiteres Aufziehen des Kassettenschiebers vier und mehr Teile der Platte verschieden lange belichten. Aus der Art, wie sich dann bei der Hervorrufung die verschiedenen Abschnitte des Negatives entwickeln, ist leicht zu ersehen, welche Exposition die richtige war.

Zeiss[2] änderte dies Verfahren ab, indem er für die Expositionsskala eine besondere Kassette fertigte, welche in Schienen laufend

---

[1]) A. a. O. S. 153.

[2]) Zeiss, Spezialkatalog 1888 S. 41.

ermöglicht, die photographische Platte vor einem schmalen, für die Beurteilung des Bildes aber ausreichend breiten Spalt vorüberzubewegen, der stets nur denselben kleinen Teil des Bildes auf der Platte zur Wirkung gelangen läßt. Bei der Entwicklung erkennt man, welcher Bildstreifen am richtigsten belichtet ist. Zeiss gibt seinem Spezialkatalog eine nach dieser Methode gefertigte Probeaufnahme (Pleurosigma angulatum Tafel IV) bei, welche in vortrefflicher Weise die Wirkung der sechs verschieden langen Belichtungen veranschaulicht. Dergleichen Versuche erleichtern nicht nur das Auffinden der richtigen Expositionszeit, sondern sind auch recht lehrreich, indem sie das Aussehen von über-, unter- und richtig exponierten Bildern zeigen.

Mit den sonst in der Photographie zur Messung der Lichtstärke angewendeten Photometern ist wegen der bei mikrophotographischen Arbeiten sehr verwickelten Verhältnisse nicht viel anzufangen.

Moitessier[1] glaubte die Beobachtung zu machen, daß bei Anwendung einer mit Kupfervitriollösung gefüllten Absorptionsküvette eine Überexposition selbst bei ungewöhnlich langer Belichtung nicht zu fürchten ist. Er nahm an, daß die blauen Strahlen in einer gewissen Zeit eine Höchstwirkung ausüben, die genau den Anforderungen des Mikrophotographen entspricht und die bei weiter verlängerter Exposition nicht leicht überschritten wird. Schon Benecke konnte die Richtigkeit dieser Annahme nicht bestätigen. Es ist nicht leicht nachzuweisen, wie der sonst so scharf beobachtende Moitessier zu dem Trugschlusse gelangte. Man darf nicht vergessen, daß die Einschaltung einer tiefblauen Flüssigkeit infolge von Absorption längere Belichtung gestattet; aber ein Zuviel macht sich in derselben unangenehmen Weise bemerkbar, wie bei Verwendung von weißem Licht.

Bei Beleuchtung mit auffallendem Licht ist unter allen Umständen viel länger zu belichten als bei durchfallendem; ebenso erfordern stereoskopische, mit halber Blendung gefertigte Aufnahmen erheblich längere Exposition, weil nur das halbe Objektiv in Wirksamkeit tritt. Bei Verwendung der stereoskopischen Wippe, wo die Objektivöffnung in gewohnter Weise arbeitet, ist dies nicht der Fall.

Daß ferner Polarisationsapparate die notwendige Belichtungszeit wesentlich verlängern, da sie einen bedeutenden Bruchteil der Strahlen nicht hindurchtreten lassen, ist selbstverständlich; man muß bei ihrer Benutzung mindestens 5- bis 6 mal so lange exponieren, als unter gewöhnlichen Verhältnissen.

[1]) A. a. O. S. 284.

Momentane Belichtung, die in der Mikrophotographie nur in besonderen Fällen Anwendung findet, ist ein dehnbarer Begriff. Der Photograph versteht unter Moment jede Zeit, welche kürzer ist als eine Sekunde. Als die verhältnismäßig unempfindlichen, nassen Kollodiumplatten noch ausschließlich das Feld beherrschten, hatte man in dieser Beziehung ein weites Gewissen. Wurde doch vor nicht allzulangen Jahren die Frage: „Was ist ein photographischer Moment?" allen Ernstes beantwortet mit „3 Sekunden". Vernünftigerweise kann man mit Moment nur einen verschwindend kleinen Bruchteil der Sekunde bezeichnen. Auf welche Weise so kurze Belichtungen zustande kommen, wurde früher auseinandergesetzt.

Augenblicksaufnahmen lassen sich in der Mikrophotographie kaum anders als mit direktem Sonnenlicht, elektrischem Bogenlicht und Magnesiumblitzlicht bewerkstelligen. Bei schwachen Vergrößerungen reichen so kurze Expositionen zum Durcharbeiten der Platte um so mehr aus, als es sich hierbei zumeist um ungefärbte Präparate handelt, wo also wenig Licht durch Absorption verloren geht. Arbeitet man mit starken Objektiven, so sieht man sich häufig genötigt, zu besonders hochempfindlichen Platten zu greifen. Unter Umständen empfiehlt es sich, die Originalaufnahme mit kurzem Bildabstande vorzunehmen und das auf diese Weise erhaltene Negativ nachträglich zu vergrößern. Die Helligkeit ist hierbei am größten, aber die nachträgliche Vergrößerung ist unbequem und trägt niemals zur Verschönerung des Bildes bei.

Nur bei richtiger Belichtung der Platte erzielt man gut durchgearbeitete, an Halbtönen reiche Negative. Bei zu kurzer Exposition wird das Bild hart und enthält keine Übergänge zwischen Schwarz und Weiß, bei zu langer fehlt die Kraft, die Einzelheiten sind grau und ein Schleier liegt über dem Ganzen. Bei Bakterienaufnahmen, wo es hauptsächlich auf möglichst scharfe Umrisse der kleinsten Organismen ankommt, exponiert man nicht selten absichtlich etwas zu kurz. Gilt es jedoch, die Einzelheiten innerhalb der Bakterien zur Anschauung zu bringen, so ist die Belichtungszeit reichlich zu bemessen.

Geringe Fehler in der Wahl der Expositionszeit lassen sich durch richtige Behandlung der Platte beim Hervorrufen ausgleichen.

Im folgenden wollen wir versuchen, einige Anhaltspunkte über die Belichtungszeiten bei Sonnen- und Petroleumlicht zu geben, doch sei ausdrücklich bemerkt, daß diese Zahlen nur unter bestimmten Verhältnissen zutreffend sind. Nach obigen Erörterungen kann nicht zweifelhaft bleiben, daß es unmöglich ist, Expositionszeiten in Minuten und Sekunden für jeden einzelnen Fall festzusetzen. Die angeführten

Werte beziehen sich auf Erythrosin-Badeplatten von mittlerer Empfindlichkeit, gute, d. h. möglichst dünne und nicht zu kräftig gefärbte Präparate, beste Ausnutzung der Lichtquelle und sorgfältig korrigierte Objektive. Bei Benutzung anderer Lichtarten lassen sich durch Vergleichung mit nachfolgenden Ziffern die Expositionszeiten für verschiedene Vergrößerungen ableiten, sobald man durch den Versuch die für eine bestimmte Vergrößerung nötige Belichtung ermittelt hat.

Petroleumlicht

Objektivsystem	Beleuchtung mit	Lichtfilter	Linear-vergr.	Belichtungs-zeit
Objektive von 30—100 mm Brennweite	Sammellinse	0	bis 15	1—30 Sek.
Schwaches Trockensystem, z. B. ZEISS 16 mm Brennweite	Sammellinse	Pikrinsäure	20—60	2—20 Sek.
Starkes Trockensystem, z. B. ZEISS 4 mm Brennweite	ABBEschem Beleuchtungsapparat	Pikrinsäure	150—350	1—3 Min.
Ölimmersion	ABBEschem Beleuchtungsapparat	Pikrinsäure	500—1000	2—4 Min.

Sonnenlicht

Objektivsystem	Beleuchtung mit	Lichtfilter	Linear-vergr.	Belichtungs-zeit
Objektive von 30—100 mm Brennweite	Sammellinse	ZETTNOWsches Kupfer-Chromfilter	bis 15	Bruchteile von Sekunden
Schwaches Trockensystem, z. B. ZEISS 16 mm Brennweite	Sammellinse	ZETTNOWsches Filter	20—60	Bruchteile von Sekunden
Starkes Trockensystem, z. B. ZEISS 4 mm Brennweite	ABBEschem Beleuchtungsapparat	ZETTNOWsches Filter	150—350	$^1/_4$—1 Sek.
Ölimmersion	ABBEschem Beleuchtungsapparat	ZETTNOWsches Filter oder Kupferoxyd-Ammoniaklösung	500—2000	$^1/_4$—2 Sek.

Bei Aufnahmen derjenigen Diatomeen, welche, wie Amphipleura pellucida, zu ihrer Auflösung die Benutzung einer nur kleinen Randzone des Objektives benötigen, wird die Belichtungszeit wesentlich verlängert.

Bei dem Abmessen der Belichtungszeit verlasse man sich nicht auf allgemeine Schätzungen, die meist zu groben Irrtümern führen, sondern halte sich streng an die Uhr, wo es sich um Sekunden handelt, an den Sekundenzeiger. In Ermangelung eines solchen läßt sich die Zeitdauer einer Sekunde durch die Schwingung eines 1 m langen Pendels angeben.

3. Die Entwicklung

Nach Beendung der Exposition bringt man die Kassette mit der Platte in die Dunkelkammer zurück, um das bisher unsichtbare Bild hervorzurufen. Manche ziehen es vor, sich nicht selbst die Finger naß zu machen, sondern nach der Aufnahme alles Weitere dem Fachphotographen zu überlassen. Dies Verfahren ist in der Mikrophotographie durchaus zu verwerfen; hier kommt es darauf an, sofort festzustellen, ob das Bild gelungen ist, oder ob sich Fehler irgendwelcher Art einschlichen, um in letzterem Falle die Aufnahme sogleich zu wiederholen. Man könnte einwenden: Der Fachphotograph ist weit eher imstande, durch alle Künste der Entwicklung ein gutes Bild herauszubringen, als der Freund der Photographie, welcher vielleicht die gelungenste Aufnahme durch unzweckmäßige Behandlung verdirbt. Darauf erwidern wir: Wer nicht imstande ist, eine Platte nach allen Regeln der Kunst zu entwickeln, möge seine Hände von der Mikrophotographie so lange fortlassen, bis er sich die nötige Fertigkeit im Hervorrufen angeeignet hat. Heutzutage findet man überall Gelegenheit, das Entwickeln zu erlernen.

Das zum Hervorrufen notwendigste Erfordernis, die **Dunkelkammer**, läßt sich in jedem Haushalt ohne besondere Schwierigkeiten herrichten. Der kleinste Raum genügt; in Ermangelung eines solchen verdunkelt man das Arbeitszimmer durch einen großen, fest am Fenster anliegenden Vorhang, welcher aus einer zwei- bis dreifachen Lage von dichtem, schwarzem Baumwollenstoff hergestellt ist. Bei der Verdunkelung des Raumes ist sehr sorgfältig zu verfahren. Man mache unter allen Umständen die Probe, ob das Auge, nachdem es sich an die Finsternis gewöhnt hat, an irgendeiner Stelle geringen Lichtschimmer wahrnimmt. Peinlichste Sorgfalt in diesem Punkte erspart viel Zeit, Geld und Ärger.

Die besonders bei Fachphotographen übliche Methode, das notwendige rote Licht durch rote Verglasung eines kleinen Fensters,

oder Überziehen desselben mit rotem, besonders präpariertem Stoff herzustellen, empfiehlt sich weniger, als die Verwendung einer roten Laterne. Die Gefahr, wirksames Licht in die Dunkelkammer zu bekommen, ist bei Tageslicht größer, als bei Benutzung der Lampe. Das zur Verglasung verwendete rote Rubinglas läßt nicht selten eine bedeutende Menge chemisch wirksamer Strahlen hindurchtreten; die zum Ersatz des Glases empfohlenen roten Zeugstoffe, Gelatineblätter und dergleichen pflegen, solange sie neu sind, ihren Zweck gut zu erfüllen; anders jedoch, wenn die Sonne sie ausbleichte und von dem Fenster abspritzende Tropfen wiederholte Durchnässung herbeiführten. Auch bei der Auswahl der roten Zylinder muß man vorsichtig zu Werke gehen; man kann sie vor ihrer endgültigen Benutzung dadurch erproben, daß man eine unbelichtete Trockenplatte 2 Minuten lang 50 cm von der brennenden Lampe entfernt frei stehen läßt; bleibt dann die Platte nach dem Einlegen in ein Entwicklungsbad schleierfrei, so ist jede Gefahr ausgeschlossen, daß bei den späteren Arbeiten durch das Lampenlicht irgendwelcher Schaden angerichtet wird.

Man empfahl auch Ersetzung des roten Glases durch gelbbraunes oder durch Verbindung verschiedener Gläser, welche ein nicht wirksames, weißes Licht geben. Über den Wert oder Unwert dieser Dinge entscheidet nur der soeben angegebene Versuch.

Bei nötiger Vorsicht in der Auswahl der roten Zylinder ist der von vielen Seiten empfohlene peinlichste Schutz der nicht entwickelten Erythrosinplatte vor irgendwelchem Licht überflüssig. Die Empfindlichkeit dieser Platten für gelbe Strahlen ist zwar hoch, für rote dagegen so gut wie Null. Es heißt daher nur die Arbeit erschweren, will man die Platte im Entwicklungsbade völlig verdeckt halten. Das Erscheinen des Bildes in der ersten und zweiten Minute ist für die Beurteilung der Exposition am meisten charakteristisch. Wer ganz sicher gehen will, mag einen Pappdeckel gegen den roten Zylinder lehnen, welcher die direkten Strahlen abhält.

Das Vorhandensein von Wasserleitung und Ausguß in der Dunkelkammer ist zwar angenehm, aber keineswegs unbedingt erforderlich; zwei große Eimer mit Wasser genügen zur Spülung nach dem Hervorrufen und Fixieren. Zwei Schalen, die eine zur Entwicklung, die andere zur Aufnahme des unterschwefligsauren Natrons, vervollständigen die Einrichtung. Wegen der Leichtigkeit, das Bild in der Durchsicht zu betrachten, ohne die Platte aus der Schale zu heben, verwendet man beim Hervorrufen am besten Klippschalen aus durchsichtigem Celluloïd.

Es ist eine Eigentümlichkeit aller neu auftauchenden Entwickler, daß dieselben (wenigstens in den Anpreisungen der Fabrikanten) imstande sind, alle Fehler der Belichtung, Überexposition und Unterexposition, vermöge der ihnen innewohnenden Kraft auszugleichen. Das wäre für den Mikrophotographen natürlich eine prächtige Sache. Leider merkt der unbefangene Beobachter von diesen Vorzügen nichts.

Am besten eignet sich zum Ausgleich nicht richtiger Belichtungszeiten Glyzin. Am bequemsten zu handhaben nnd auch sonst recht empfehlenswert ist Rodinal, da man die känfliche Lösnng nur mit 20 bis 30 Teilen Wasser zn verdünnen brancht.

Schwer zu beantworten ist die Frage, wann man die Entwicklung abbrechen soll. In diesem Punkte lernt man nur durch große Übung das Richtige treffen. Manche wollen so lange entwickeln, bis das Bild in der Durchsicht die genügende Kraft hat. Das ist leichter gesagt als getan; denn sobald die Einzelheiten des Bildes, wie so häufig in der Mikrophotographie, sehr fein sind, erkennt das Auge bei dem matten Scheine der roten Laterne in der Durchsicht schon bald nach dem ersten Erscheinen des Bildes nichts mehr. Andere meinen, man müsse so lange entwickeln, bis das Bild anfängt, auf der Rückseite der Platte sichtbar zu werden. Anch dies Zeichen ist trügerisch, weil die Art der Platten hierbei eine große Rolle spielt. Bei dünn gegossenen Platten erscheint das Bild lange vor der fertigen Entwicklung auf der Rückseite, während man bei dick gegossenen diesen Angenblick kaum abwarten darf. Auch die Beschaffenheit des Bildes in der Aufsicht bietet keine zuverlässigen Anhaltspunkte.

Hanpterfordernis für gute Entwicklung ist daher genaue Kenntnis seiner Platten. Der Mikrophotograph kann keinen gröberen Fehler begehen, als auf irgendwelche Empfehlnng hin mit der Plattensorte zn wechseln. Man arbeite sich auf bestimmte Platten gut ein und wird dann immer zn befriedigenden Resnltaten gelangen.

Bei wesentlichen Abweichungen von der richtigen Belichtung wiederhole man die Aufnahme unter allen Umständen so oft, bis die richtige Expositionszeit getroffen ist. In diesem Punkte offenbart sich die wahre Größe des Mikrophotographen. Wer mit unrichtig belichteten Platten sich begnügt, möge etwas anderes tun, als Mikrophotographie betreiben. Verschleierte und zu harte Negative sind zn verwerfen; sie liefern niemals befriedigende Abzüge.

Unter den Fixierbädern gebe man dem sanren Fixiersalz den Vorzug; dasselbe klärt die Platten besser, als gewöhnliches Fixiernatron. Das Fixierbad ist häufig zu erneuern, da Platten, die in alten Bädern ausfixiert wurden, sich nicht halten. Schnelles Ver-

derben der Negative ist viel häufiger auf alte Fixierbäder, als auf mangelhaftes Auswaschen nach dem Fixieren zurückzuführen. Man tut gut, die Platte nach Verschwinden des weißen Bromsilbers noch wenigstens 5 Minuten im Fixierbade zu belassen, da dem Auge unsichtbare Reste ein Verderben des Negatives herbeiführen können.

Die Verstärkung ist ein dem Anfänger sehr willkommener, für den Geübten überflüssiger Notbehelf. Man kann aus der Zahl der Platten, welche verstärkt werden müssen, ohne weiteres einen Schluß auf die Übung des angehenden Photographen ziehen. Wert besitzt die Verstärkung nur in den Fällen, wo es sich um Aufnahme ungefärbter, wenig gegensatzreicher Objekte, z. B. lebender, in Wasser eingebetteter Bakterien, handelt. Belichtet man bei derartigen Präparaten, welche dem Auge kaum erkennbare Einzelheiten aufweisen, etwas zu kurze Zeit, entwickelt dann langsam unter Zusatz von Bromkalilösung und verstärkt das Negativ, so lassen sich Einzelheiten sichtbar machen, welche bei der Okularbeobachtung nur mit äußerster Mühe wahrnehmbar sind.

Bei Aufnahme ungewöhnlich dicker, kräftig gefärbter Präparate ist es häufig nicht möglich, allein durch die Entwicklung kopierfähige Negative zu fertigen: Die den helleren Stellen des Objektes entsprechenden Abschnitte der Platte sind schon völlig verbrannt, während die dunkelen Einzelheiten erst anfangen, sichtbar zu werden. Wir verfahren in diesem Falle folgendermaßen: Man exponiert so lange, bis man vermuten darf, daß auch die dunkelsten Teile des Objektes einen Eindruck auf der lichtempfindlichen Platte ausgeübt haben. Dazu ist mitunter eine 20- bis 30mal längere Belichtung erforderlich, als bei normalen Präparaten. Nunmehr wird kräftig so lange entwickelt, bis auch diejenigen Abschnitte, welche am wenigsten Licht empfingen, sich schwärzen. Nach beendetem Fixieren und gutem Auswaschen wird dann mit Ammoniumpersulfat abgeschwächt, welches dort am meisten fortnimmt, wo der Silberniederschlag am dicksten ist. Dies ist einer der wenigen Fälle, wo man in der Mikrophotographie mit Vorteil lichthoffreie Platten verwendet, weil bei der übermäßig langen Belichtung des ungewöhnlich gegensatzreichen Bildes sich sonst Überstrahlungen bemerkbar machen. Auf diesem Wege gelingt die Herstellung brauchbarer Negative von Objekten, deren Aufnahme sonst unmöglich erscheint.

Der Fixiernatron-Blutlaugensalz-Abschwächer wird mit Vorteil dort angewendet, wo es sich darum handelt, einen leichten Schleier zu beseitigen und das Negativ etwas gegensatzreicher zu machen.

---

4. Die Beurteilung des Negatives

Das fertige Negativ unterwerfe man strengster Kritik. Wer hierbei gewissenhaft zu Werke geht, wird in der Folgezeit um so seltener Fehlgriffe tun.

Häufig zeigen sich auf der Platte bei der Durchsicht kleine helle Pünktchen und Strichelchen, von denen letztere bei Bakterienaufnahmen leicht Geißeln vortäuschen können. Sie sind verursacht durch Staubteilchen, welche auf der Gelatine haftend die unter ihnen gelegene Schicht bei der Aufnahme vor Licht schützen. Zumeist gelangen sie mit der nicht oder mangelhaft filtrierten Erythrosinlösung, oder beim Trocknen der Badeplatten im stauberfüllten Raume auf die Platte. Abhilfe ergibt sich hieraus von selbst.

Weniger den Wert als die Schönheit der Bilder beeinträchtigt ungewöhnlich grobes Korn der Bildschicht, wie es sich zuweilen bei hochempfindlichen Platten findet. Wird ein solches Negativ vergrößert, so macht sich dieser Übelstand sehr bemerkbar; die Abzüge gewinnen ein unschönes, sandiges Aussehen. Der Mikrophotograph wähle daher Plattensorten mit möglichst feinem Korn.

Schon früher wurde darauf hingewiesen, daß man allzu breite, unscharfe Randzonen, welche besonders bei Aufnahmen mit starken Objektiven auftreten, zu vermeiden sucht. Auch wurde angegeben, wie man durch Blenden im Projektionsokulare oder unmittelbar vor der Platte das Gesichtsfeld einengt. Verfasser zieht es vor, Blenden nicht in Anwendung zu bringen, sondern im fertigen Negative die Bildschicht so abzurunden, daß um die scharfe Mitte nur eine schmale, unscharfe Zone übrig bleibt. Wie dies auszuführen ist, wurde auf Seite 81 auseinandergesetzt. Man hat bei diesem Verfahren den Vorteil, die beste und wichtigste Stelle des Bildes in die Mitte des Bildkreises bringen zu können.

Die gewöhnlichsten Fehler aller Negative, besonders der von Anfängern gefertigten, sind unscharfe Umrisse, welche verschiedenen Ursachen ihre Entstehung verdanken. In erster Linie kommt hierbei die Fokusdifferenz in Frage, welche früher alle mikrophotographischen Arbeiten derart beeinträchtigte, daß manche die Erzeugung scharfer Bilder überhaupt für unmöglich hielten.

Wer sich genau an die im obigen gegebenen Vorschriften hält, gelbempfindliche Platten und ein Filter verwendet, welches nur Licht von engbegrenzter Wellenlänge hindurchläßt, kann die Fokusdifferenz seiner Objektive vernachlässigen. Man hat also nach anderen Gründen

zu forschen. In der Mehrzahl aller Fälle wird Unschärfe des Negatives durch unscharfes Einstellen auf der Visierscheibe erzeugt. Wer Gelegenheit hatte, Anfängern Unterricht in der Mikrophotographie zu erteilen, weiß, wie schwer es vielen fällt, bestmögliche Einstellung zuwege zu bringen. Wir reden nicht von den zahlreichen mikrophotographischen Apparaten, welche wegen mangelhaft konstruierter Verlängerung der Mikrometerschraube scharfes Einstellen überhaupt zur Unmöglichkeit machen. Selbst bei der eine große Feinheit im Einstellen gestattenden Verlängerung durch Schnurlauf und dem sauber gearbeiteten, sicher wirkenden Hookeschen Schlüssel fällt es nicht wenigen unglaublich schwer, die unbedingt notwendige Schärfe auf der Visierscheibe hervorzubringen. In früheren Kapiteln wurde wiederholt darauf hingewiesen, daß die beste Einstellung beim Einsetzen der Kassette in den Apparat verloren gehen kann, wenn Kamera und Mikroskop starr miteinander verbunden sind.

Ferner hat man daran zu denken, daß Erschütterungen des Apparates während der Belichtung und Veränderung der Einstellung bei langer Exposition die Unschärfe herbeigeführt haben könnten.

Zuweilen zeigt es sich, daß in unbeabsichtigter Weise die Mitte unscharf ist, und daher gerade die Hauptteile des Bildes verschwommen erscheinen. Daß man unter Umständen diesen Fall absichtlich herbeiführt, wurde auf Seite 210 erwähnt. Unschärfe der Mitte kann verursacht sein durch Fokusdifferenz oder durch scharfe Einstellung eines peripher gelegenen Punktes im Gesichtsfelde.

In nicht ganz seltenen Fällen ist bei allen mit demselben Mikroskop gefertigten Aufnahmen eine Seite des Negatives wesentlich unschärfer als die andere, auch wohl ein mehr oder minder breiter, mitten durch das Gesichtsfeld verlaufender Streifen scharf, während beide Seiten unscharf sind. Das hat seinen Grund in mangelhafter Richtung des Objekttisches; die Tubusachse steht nicht genau senkrecht auf demselben. Hier hilft nur Zurücksenden des Mikroskops an den Verfertiger.

Ein gewöhnlicher Fehler nicht nur von Anfängern hergestellter Negative ist ungleiche Helligkeit des Gesichtsfeldes. Auf der Visierscheibe erschien die Helligkeit völlig gleichmäßig, in dem entwickelten Negative sind einzelne Abschnitte, meist eine ganze Hälfte, wesentlich undurchsichtiger als das übrige. Die lichtempfindliche Platte nimmt es mit geringen Helligkeitsunterschieden, welche nur das geübteste Auge erkennt, überraschend genau. Abhilfe schafft Regulierung der Beleuchtung nach den in Abschnitt IV dargelegten Grundsätzen.

Nicht zu verwechseln mit dem soeben gerügten Fehler ist diejenige ungleiche Dichtigkeit der Negative, welche hervorgebracht wird durch ungleichmäßiges Überfließen des Entwicklers über die in der Schale liegende Platte. Werden einzelne Abschnitte der Platte von dem Hervorrufer später benetzt als andere, so bleiben dieselben um so heller, je schneller und kräftiger der Entwickler wirkt. Diese Art der ungleichen Deckung unterscheidet sich von der auf ungleiche Erhellung des Gesichtsfeldes zurückzuführenden dadurch, daß bei letzterer die Übergänge sanft sind, während im anderen Falle die hellen Zonen gegen die dunkelen sich scharf abgrenzen. Starkes Bewegen der Schale, sobald der Entwickler hineingegeben ist, und nicht zu große Sparsamkeit bei Abmessung der Flüssigkeitsmengen ersparen in dieser Hinsicht dem Mikrophotographen viel Arbeit und Ärger.

Der unliebsamste und häufigste Gast aller Negative ist der Schleier. Anfänger sind schnell bereit, für jeden Schleier den Plattenfabrikanten verantwortlich zu machen. Da gegenwärtig höchst selten schlecht bereitete, auch bei richtiger Behandlung schleiernde Platten in den Handel kommen, so denke man bei eintretender Verschleierung zuerst an sich selbst und in zweiter Linie an die Plattenfabrik. Es gibt ein vortreffliches Mittel, mit Sicherheit zu entscheiden, ob den Lieferanten ein Vorwurf trifft, oder nicht: Man entnehme bei völliger Dunkelheit dem bisher verschlossenen Paket eine Platte und lege sie in frisch gemischten, kräftigen Entwickler. Durch Betasten mit dem angefeuchteten Finger kann man leicht entscheiden, welches die präparierte Seite ist. Bleibt die Platte nach mindestens 5 Minuten langem Verweilen im Hervorrufer und nach völligem Ausfixieren glasklar, so kann ein bei späteren Arbeiten eintretender Schleier niemals der Fabrik zur Last gelegt werden.

Um die Ursachen der Verschleierung zu ermitteln, richte man sein Augenmerk vor allem auf die Ausdehnung des Schleiers. Erstreckt sich derselbe über die ganze Platte, ohne irgendwelche, auch noch so schmale Randstreifen frei zu lassen, so deutet dies auf Einwirkung von Licht, bevor die Platte in die Kassette eingelegt oder nachdem sie aus dieser herausgenommen wurde. Hier kommt es also darauf an, die Dunkelkammer auf ihre völlige Dunkelheit und den Zylinder der roten Laterne auf seine Undurchlässigkeit von chemisch wirksamen Strahlen zu prüfen. Wie leicht erklärlich, werden Spuren von wirksamem Licht besonders während des Trocknens der Badeplatten verderblich. Auch ein unreiner oder verdorbener Entwickler kann Verschleierung der ganzen Platte herbeiführen.

Ist die ganze Platte verschleiert mit Ausnahme der schmalen Ränder, mit denen dieselbe in der Kassette aufliegt, so deutet dies auf Nebenlicht innerhalb der Kamera. Man blicke also bei möglichst hell erleuchteter Umgebung der Kamera in dieselbe und forsche, ob außer durch den Tubus an irgendeiner Stelle Strahlen in das Innere gelangen.

Ist nur der Bildkreis verschleiert, die Umgebung desselben jedoch glasklar, so hat man zunächst an Überexposition zu denken. Jedoch auch ohne eine solche, selbst bei erheblicher Unterexposition, tritt Verschleierung ein, wenn erstens neben durchfallendem Licht wesentliche Mengen von Oberlicht das Präparat treffen, zweitens die Öffnung des beleuchtenden Lichtkegels für das jeweilig benutzte Objektiv zu groß ist und drittens vom Präparat erheblich mehr erhellt ist, als das aufzunehmende Gesichtsfeld.

Randschleier, welche in besonders ausgesprochenen Fällen sich über die ganze Platte ausdehnen, rühren von Zersetzung der lichtempfindlichen Schicht her und stellen sich vorwiegend bei zu lange aufbewahrten Badeplatten ein.

Wenn wir bisher von Schleier sprachen, so bezog sich das ausschließlich auf Grauschleier. Grün-, Gelb- und Rotschleier, welche ihren Ursprung unreinen und mangelhaft zusammengesetzten Entwicklern, Fixier-, Verstärkungs- und Abschwächungsbädern verdanken, erfordern zu ihrer Entfernung verschiedenartige Methoden, deren Erörterung uns zu weit führen würde. In nicht seltenen Fällen verlangsamen diese Schleier das Kopieren, tun aber der Güte des Bildes keinen Abbruch.

Außer mit Verschleierung hat der Anfänger mit Härte der Bilder zu kämpfen, welche Folge von zu kurzer Belichtung ist. Harte Negative zeigen zu starke Gegensätze: Unmittelbar neben pechschwarzen Stellen ist die Bildschicht glasblank und ohne jede Zeichnung. Hier hilft kein Verstärken, welches die Schwärzen nur noch schwärzer machen würde. Das einzige Heil liegt in Wiederholung der Aufnahme bei längerer Belichtung.

Mitunter ist das Negativ zwar gut durchgezeichnet, das Ganze aber ist zu dick, so daß man nur beim Betrachten gegen helles Licht Einzelheiten wahrnimmt. Der Grund liegt in zu langer Entwicklung; vorsichtige Abschwächung kann die Aufnahme retten. Das Gegenstück hierzu bildet ein zu dünnes Negativ, dessen Entwicklung nach richtiger Belichtung zu früh unterbrochen wurde. Auch kann trotz richtiger Entwicklung zu hohe Empfindlichkeit der Platte schuld sein. Nachträgliches Verstärken leistet hierbei gute Dienste.

Unter den vielen möglichen Fehlern der Negative, die einzeln aufzuzählen sich der Mühe kanm verlohnt, sei nur noch anf schwarze Säume aufmerksam gemacht, welche bisweilen alle Einzelheiten umgeben. Es sind Diffraktionssäume, welche herrühren von zn engem Beleuchtungskegel. Meist nimmt das Auge dieselben im Präparate kaum wahr, während die Bromsilberschicht, welche auch auf geringe Helligkeitsunterschiede lebhaft reagiert, sie als dicke Linien darstellt.

Dem Anfänger fällt es schwer zu beurteilen, ob ein Negativ allen Anforderungen entspricht und kopierfähig ist, oder nicht. Er möge sich deshalb einige gute, von Geübten gefertigte Platten als Muster halten. Auch verabsäume man nicht, von allen leidlich geratenen Negativen Probeabzüge zu machen, um leichter zu erkennen, wo noch Verbesserung not tut. Wer ernstlich bestrebt ist, Gutes zu leisten, darf die Wiederholung einer Aufnahme niemals nnbeqnem und langweilig finden.

---

5. Die Negativretusche

In der Porträt- und Landschaftsphotographie spielt die Retusche eine Hanptrolle. Es ist kaum znviel gesagt, daß die landesüblichen Porträts in demselben Maße Produkte der Zeichenknnst des Photographen, als der Einwirkung des Lichtes auf das Bromsilber sind. Manche Porträtnegative machen den Eindruck, als diene die Silberschicht nur als Unterlage für die Farbe des Retuscheurs. In der Mikrophotographie soll das anders sein. Kaum je wurden andere Meinungen geäußert, als daß hier jede Retnsche fern zu bleiben hat; man wolle nicht sehen, wie der Photograph, sondern wie die Natur zeichnet. Dies ist leichter gesagt als getan. Die Schwierigkeit liegt darin, daß sich nicht so ohne weiteres entscheiden läßt, wo die erlaubten, irgendwelche Veränderung des Negatives herbeiführenden Maßnahmen aufhören und wo das Unerlaubte anfängt. Wollte man ganz streng sein, so müßte jede Maßnahme, welche das fertig entwickelte Negativ in irgendeiner Weise verändert, untersagt werden. Wir wiesen bereits darauf hin, daß zweckmäßige Abschwächnng das Bild in nicht zu unterschätzender Weise nmzugestalten vermag; man ist so imstande, Dinge sichtbar zu machen, die ohne Abschwächung unsichtbar blieben — und umgekehrt. Noch mehr: Es ist möglich, auf zwei völlig gleich belichteten Platten zwei dnrchaus ungleiche Bilder hervorzurufen. Das eine Mal entwickelt man mit angewärmter,

kräftiger Lösung möglichst schnell, das andere Mal beginnt man unter reichlichem Zusatz von Bromkali und kräftigt nach und nach: Hierbei können viele Einzelheiten verloren gehen, welche bei ersterer Entwicklungsmethode deutlich sichtbar bleiben. Ein Beispiel möge dies erläutern: In manchen Präparaten vom Cortischen Gehörorgan sieht man in dem Tunnel ein überaus zartes, quer gespanntes Fädchen, den Durchschnitt der Tunnelmembran. Verfasser photographierte ein solches Präparat zweimal bei gleicher Belichtungszeit. Die Platten wurden in der oben angedeuteten Weise verschiedenartig entwickelt: In dem einen Negativ war das feine Fädchen prächtig sichtbar, in dem andern hob es sich von der Umgebung nicht im mindesten ab. Das Endresultat war kein anderes, als wenn man bei dem zweiten Negativ das Fädchen fortretuschiert hätte.

Die erklärtesten Feinde der Retusche werden sich zu einem Zugeständnis herbeilassen müssen: Alle Maßnahmen, welche in gleicher Weise auf die ganze Platte einwirken, sind unbedingt gestattet. Vielleicht muß man noch weiter gehen. Wir besitzen ein prächtiges Negativ, welches nach großen Mühen gelang. Das Präparat war schnellem Verderben ausgesetzt; alle weiteren Versuche mit demselben sind daher ausgeschlossen. Leider hat das Negativ den einzigen Fehler, daß infolge von ungleichmäßiger Helligkeit des Gesichtsfeldes die Deckung beider Hälften verschieden ist. Jeder weiß, wie leicht es hierbei geschieht, daß in der Kopie die eine Seite bereits völlig verbrannt ist, während die andere soeben erst anfängt zu kopieren. Was tun? Wir legen das Negativ in eine Schale und bespülen die dickere Hälfte vorsichtig, unter Zuhilfenahme eines Pinsels, mit abschwächender Lösung. Es gehört viel Geschick dazu, das Negativ hierbei nicht zu verderben, aber der Geübte kommt vollkommen zum Ziele. Das Resultat ist ein vortrefflich kopierendes Negativ.

Anstatt die dicke Seite abzuschwächen, könnte man die dünne verstärken, oder letztere auf der Rückseite des Negatives mit einer so stark anfgetragenen Farbschicht bedecken, daß nunmehr beide Hälften gleichmäßig kopieren. Für letzteres Verfahren spricht der Umstand, daß man die Farbe jederzeit abwischen und so das ursprüngliche Aussehen des Negatives wieder herstellen kann, was bei teilweiser Verstärkung und Abschwächung nicht möglich ist. Aber man befindet sich hier auf einem abschüssigen Pfade. Alle Kontrolle darüber hört auf, inwieweit man das Bild durch Abdecken absichtlich verändert.

Gegen teilweise Abschwächung oder Verstärkung wird sich kaum ein ernstlicher Einwand erheben lassen, vorausgesetzt natürlich, daß

hierdurch keine wesentlichen Veränderungen der Einzelheiten des Bildes herbeigeführt werden, sondern daß es sich nur um den Ausgleich verschiedener Helligkeiten handelt. Bleistift und Tuschpinsel mögen ein für alle Mal vom mikrophotographischen Negativ fernbleiben. Jedes Einzeichnen in das Negativ ist unbedingt verwerflich. Ebenso verpönt bleibt selbstverständlich das Abschaben der Bildschicht, wie es Bentley bei seinen Schneekristallaufnahmen tat, um den Kristallen schärfere Umrisse zu geben (s. S. 200).

In das Gebiet der Negativretusche gehört auch bei Diatomeenaufnahme das Abdecken des Gesichtsfeldes bis dicht an den Rand der Diatomee. Hierdurch wird erreicht, daß sich in der Kopie das Bild der Kieselschale von dem rein weißen Grunde vortrefflich abhebt. Es läßt sich nicht leugnen, daß dies Verfahren bei denjenigen Aufnahmen, welche Lehrzwecken dienen, sich bewährt. Wie häufig kommt es vor, daß z. B. die Surirella, auf welche es im Bilde ankommt, eingebettet liegt zwischen verschiedenen Exemplaren von Navicula. Das Abdecken geschieht durch Auftragen einer undurchsichtigen Deckfarbe auf der Rückseite der Platte oder durch Bekleben mit dunklem Papier daselbst. Hierdurch werden die unnatürlich scharfen Umrisse vermieden, welche beim Decken auf der Bildseite entstehen.

Das Abdecken darf natürlich niemals bei solchen Bildern geschehen, welche über die Struktur der Diatomee irgend etwas beweisen sollen. Hier kommt es, wie bereits früher erörtert, vor allem auf die außerhalb der Kieselschale auftretenden Linien an, welche als Diffraktionssäume zu deuten sind und jede Art der Längs- und Querstreifung vortäuschen können. Verdeckt man hier die Umgebung der Diatomee, so raubt man den Bildern jeden Anspruch auf Wissenschaftlichkeit, da es nunmehr unmöglich wird zu entscheiden, ob die vorhandene Streifung ein Kunstprodukt ist oder nicht. Nirgends ist das Abdecken so unstatthaft, wie bei Amphipleura pellucida.

Manche lieben es, die Rückseite von Diatomeennegativen mit Aurinkollodium zu übergießen und die gelbliche Schicht über der Kieselschale fortzukratzen. Die Diatomee kopiert dann kräftig, während die Umgebung wesentlich heller bleibt, ohne ganz weiß zu werden. Nach diesem Verfahren hergestellte Abzüge sehen besser aus, weil sich das Bild der Schale besser abhebt. Bei Amphipleuranegativen muß auch dies unterbleiben, weil die mitunter nur schwach angedeuteten Linien außerhalb der Schale hierdurch noch schwerer sichtbar werden. Dasselbe gilt vom Verstärken der die Kieselschale umgebenden Bildschicht.

6. Die Vergrößerung des Negatives

Die nachträgliche Vergrößerung des Negatives, welcher man früher eine hohe Bedeutung beilegte, wird gegenwärtig in der Mikrophotographie nur ganz ausnahmsweise geübt. Niemals ist außer acht zu lassen, daß die nachträgliche Vergrößernng weit mehr Mühe und Kosten verursacht, als in dieser Beziehnng durch die kleine gegenüber der großen Originalaufnahme erspart wird.

In seltenen Fällen ist zwei- bis dreimalige, aber nicht stärkere, nachträgliche Vergrößerung am Platze, dann nämlich, wenn die Einzelheiten des Negatives so fein sind, daß zwar das kurzsichtige, nicht aber das weitsichtige Ange sie ohne Lupe dentlich erkennt, und eine Steigerung der Originalvergrößerung wegen nicht ausreichender Helligkeit der Lichtqnelle oder mangelnder Balgenlänge nnmöglich ist.

Sollte es ohne naehträgliche Vergrößerung nicht abgehen, so sorge man bei der Originalanfnahme für eine Platte von möglichst feinem Korn. Die früher verwendeten, nassen Jodsilber-Kollodinmplatten sind den Bromsilber-Trockenplatten in dieser Hinsicht wesentlich überlegen; doch gibt es anch Trockenplatten, deren Korn an Feinheit wenig zu wünschen übrig läßt. Allerdings ist mit feinem Korn stets Unempfindlichkeit verbunden.

Znm Zwecke der Vergrößerung ist nach dem Originalnegative zuerst ein positives Bild auf Glas anzufertigen, und nach demselben das neue Negativ. Von wesentlichem Einfluß auf das Gelingen der Vergrößerung ist die Wahl der Platten. Nimmt man zur Herstellung von Diapositiv und vergrößertem Negativ gewöhnliche Bromsilber-Trockenplatten, so befriedigt das Resultat nicht. Die auf diesem Wege erhaltenen Bilder sind grobkörnig und machen einen unansehnlichen Eindrnck. Man verwendet deshalb für das Diapositiv eine Chlorsilber-Gelatineplatte, welche überaus feines Korn besitzt und die zartesten Einzelheiten des Originalnegatives in vortrefflichster Weise wiedergibt. Nach einem solchen Diapositiv kann man das Negativ auf gewöhnlicher Bromsilberplatte fertigen.

Siebenter Abschnitt

Das positive Bild

1. Die Kopie auf Papier

Nach dem DAGUERREschen Verfahren erhielt man sogleich bei der Aufnahme positive Bilder. Dieselben ließen sich jedoch nicht mit Hilfe des Lichtes vervielfältigen. Ganz anders gestaltete sich die Sache, als man lernte, negative Bilder auf Papier oder Glas zu erzeugen. Nunmehr war die Möglichkeit gegeben, nach dem Negativ eine beliebige Anzahl positiver Abzüge auf undurchsichtigen oder durchsichtigen Bildträgern zu fertigen. Nach verschiedenen, unvollkommene Resultate liefernden Versuchen mit Papieren, die mit Kochsalzlösung getränkt und dann mit Silberlösung behandelt waren, fand man im gesilberten Albuminpapier ein vortreffliches Mittel zur Herstellung positiver Bilder, welche alle Feinheiten des Negatives in ausreichender Weise wiedergeben. Das Überziehen des Papieres mit Eiweiß geschieht in besonderen Fabriken. So präpariert wird es vom Photographen wenige Stunden vor dem Gebrauch auf eine Lösung von salpetersaurem Silber gelegt, wo es einige Minuten schwimmt. Nach dem Trocknen ist dasselbe zum Kopieren fertig. Man kann, wie dies in Schriften über Mikrophotographie geschehen ist, mit dem genauen Beschreiben der Sensibilisierung des Papieres, dem Abbilden der dazu notwendigen Schalen, Holzklammern und dergleichen nebensächlichen Dingen ganze Bogen füllen. Doch verzichten wir auf dies Mittel, dem Buche ein umfangreicheres Äußere zu geben und raten dem Mikrophotographen, seine Zeit für nützlichere Dinge zu verwenden. Das Herstellen der Abzüge auf frisch gesilbertem Albuminpapier überläßt man dem Fachphotographen; es gehört viel Übung dazu, die Papiere richtig zu behandeln. Außerdem vergilbt und verdirbt die Albuminschicht schon nach einem Tage; der Vorrat muß schnell

aufgebraucht werden, und die Abzüge sind sogleich fertig zu machen, d. h. zu waschen, zu tonen und zu fixieren.

Von den direkt kopierenden Papieren, welche die Neuzeit auf den Markt brachte, kommen für den Mikrophotographen nur zwei in Betracht: glänzendes Chlorsilberkollodium-(Celloïdin-)Papier und glänzendes Chlorsilbergelatine-(Aristo-)Papier. Alle Papiersorten mit stumpfer und rauher Oberfläche, die in der künstlerischen Photographie eine Rolle spielen, sind für den Mikrophotographen wertlos, da sie die Einzelheiten des Negatives niemals so gut wiedergeben, wie die hochglänzenden Chlorsilberpapiere. Genaueste Wiedergabe der Einzelheiten ist aber in der Mikrophotographie der einzig maßgebende Punkt. Eine Kopflaus wird auch dann niemals einen künstlerischen Eindruck machen, wenn sie auf Mattpapier kopiert ist.

Da die Fabrikanten ihren Chlorsilberpapieren Gebrauchsanweisungen beilegen, so sind nähere Angaben überflüssig. Sehr bequem ist das Behandeln der Kopien mit Tonfixierbädern, doch sind die hiermit erzielten Abzüge nicht so haltbar (besonders beim Celloïdinpapier), als bei Behandlung mit getrennten Bädern.

Nach dem Trocknen verleiht man den aufgezogenen Bildern durch Heißsatinieren Hochglanz. Nur das heiß satinierte Bild zeigt alles, was aus dem Negativ herauszuholen ist.

---

2. Die Kopie auf Glas

Das Vollkommenste in der Wiedergabe feinster Einzelheiten des Negatives leisten die Glasbilder. Die Überlegenheit des Glasbildes über das Papierbild besteht vor allen Dingen darin, daß auch die dunkel kopierten Stellen, welche bei auffallendem Licht gleichmäßig schwarz erscheinen, bei durchfallendem die geringsten Helligkeitsunterschiede deutlich hervortreten lassen.

Hochempfindliche Bromsilberplatten sind für Glasbilder nicht zu brauchen, teils wegen ihres groben Korns, teils wegen zu kräftiger Deckung der Schatten. An ihrer Stelle benutzt man am besten Chlorbromsilberplatten.

---

3. Die mechanischen Vervielfältigungsverfahren

Auf die Entwicklung der Mikrophotographie übte diejenige der mechanischen Vervielfältigungsverfahren einen entscheidenden Einfluß aus. Was nützen die schönsten Aufnahmen, wenn sie wohlverwahrt im Kasten liegen und nur mit ungewöhnlich hohen Kosten weiteren Kreisen zugänglich zu machen sind?

Eine Kopie auf Albuminpapier läßt sich kaum für einen geringeren Preis als zehn Pfennig herstellen. Bei einer Auflage von Tausend würden sich also die Kosten eines einzigen Photogramms auf 100 Mark belaufen. Und nun die zum Kopieren notwendige Zeit! Täglich fünf Abzüge von einem mitteldichten Negativ zu fertigen, ist eine achtbare Leistung. Häufig kopiert an trüben Wintertagen kaum ein einziges Blatt. 1000 Abzüge beanspruchen demnach wenigstens 200 Tage. Bei etwas dichteren Negativen und ungünstiger Witterung ist die doppelte Zeit nicht zu hoch veranschlagt. Das sind Schwierigkeiten, welche die Verwendung von Abzügen auf Albuminpapier als Illustration in wissenschaftlichen Werken ernstlich in Frage stellen. Chlorsilberpapiere kopieren zwar schneller, der Preis stellt sich aber höher.

Um so mehr ist es anzuerkennen, daß die Verleger älterer mikrophotographischer Werke zuzeiten, als die Verwendung von mechanischen Vervielfältigungsverfahren noch nicht in Frage kam, weder Zeit noch Kosten scheuten und die Bücher ihres Verlages in überraschend reicher Weise mit Mikrophotogrammen ausstatteten. Nur nebenbei sei erwähnt, daß die Schrift von Gerlach sieben Probebilder auf Albuminpapier enthält, diejenige von Moitessier deren acht, darunter eine stereoskopische Aufnahme. Benecke fügt seiner Bearbeitung des Moitessierschen Werkes zwei Tafeln bei, auf denen sich je sechs Aufnahmen befinden. Allerdings ist hier jede Tafel nach einem einzigen großen Negativ kopiert, wodurch sich die Arbeit wesentlich vereinfacht.

Bei der neuerdings sehr in Aufnahme gekommenen, sogenannten Kilometerphotographie, wo mit maschinellen Einrichtungen auf hochempfindlichen Bromsilberpapieren kopiert und sogleich entwickelt, fixiert und ausgewaschen wird, lassen sich hohe Auflagen in kürzester Zeit herstellen; doch sind die Kosten ziemlich erheblich.

Die Versuche, das Kopieren durch ein Druckverfahren zu ersetzen, reichen in frühe Zeit zurück. Schon im Jahre 1841 gelang es Fizeau, galvanoplastische Abdrücke von Daguerreotypien zu erhalten. Durch eine eigentümliche Ätzung der Daguerreotypie, welche

dieselbe vertieft und zum Abdruck geeigneter macht, verbesserte Fizeau seine Methode. Doch gaben die Galvanos immer nur ein ziemlich rohes Umrißbild des Objektes auf das Papier ab. Viel vollkommenere Resultate erzielten im Jahre 1853 Niepce de St. Victor und Lemaitre, indem sie ein Glaspositiv auf asphaltierter Stahlplatte kopierten und einätzten. Die Ätzung bringt ein feines Korn in den Schatten hervor. Die geätzte Platte ähnelt einer gestochenen und nimmt wie eine solche in den Schatten Druckerschwärze an. Nach dieser Methode werden auch Halbschatten in ziemlicher Vollkommenheit wiedergegeben.

Ein ähnliches Verfahren wendeten Barreswil, Lemercier u. a. als Photolithographie auf Stein an. Doch zeigten die Abzüge gröberes Korn und entbehrten der Mitteltöne.

Im Jahre 1853 veröffentlichte Talbot ein Verfahren, nach dem er druckfähige Bilder auf Kupfer, Stahl oder Zink erhielt. Er überzog die hochpolierte Metallplatte mit einer Chrom-Gelatineschicht, belichtete unter dem Negativ und behandelte darauf mit Ätzflüssigkeit, welche die Gelatine überall durchdringt, das Metall also angreift, wo das Licht nicht wirkte, während an den belichteten Stellen die Gelatine unlöslich und für die Ätzflüssigkeit undurchdringlich bleibt. Ist das Metall hinreichend angeätzt, so entfernt man die Gelatine und hat nun eine druckfähige Platte.

Im Laufe der Jahrzehnte wurden die verschiedenen Verfahren wesentlich verbessert. Heutigentags kommen für den Mikrophotographen drei Druckmethoden in Betracht:

1. Die Zinkätzung (Autotypie).
2. Der Lichtdruck (Albertypie oder Lichtleimdruck).
3. Die Heliogravüre (Photogravüre oder Kupferlichtdruck).

Jedes dieser Verfahren hat seine Vorteile und Nachteile; keins derselben liefert jedoch Bilder, welche den Kopien auf Chlorsilberpapier oder gar auf Glas als völlig ebenbürtig an die Seite zu stellen sind. Porträt- und Landschaftsphotographen werden dies nicht zugeben. Sie haben von ihrem Standpunkte aus recht; der Mikrophotograph steht aber auf einem andern Standpunkte. Nicht als ob die besten dieser Vervielfältigungsverfahren Übergänge und Halbtöne nicht in ausreichender Weise zur Darstellung brächten; nur die Wiedergabe der feinsten Striche läßt den Mikrophotographen unbefriedigt. Daß es mit der Zeit gelingen wird, auch den höchsten Anforderungen zu genügen, ist außer Frage. Nur mögen die beteiligten Kreise nicht jetzt schon die Hände in den Schoß legen und glauben, sie hätten alles erreicht, was zu erreichen wünschenswert ist.

Die Zinkätzung (Autotypie) ist das billigste Verfahren, liefert aber die am wenigsten befriedigenden Resultate. Die Zinkklischees lassen sich wie Holzstöcke drucken; doch werden die Feinheiten des Klischees nur dann mit genügender Genauigkeit wiedergegeben, wenn das Papier hochglänzende Oberfläche besitzt (vergl. Tafel I). Derartige Bilder zeigen niemals reine Weißen, sondern an Stelle derselben mehr oder minder feine Punktierung. Hierin liegt die Schwäche des Verfahrens; die Punktierung hat unmittelbar zur Folge, daß alle Umrisse, sowohl diejenigen der tiefschwarzen Schatten, als auch der Halbtöne, nicht scharf erscheinen, sondern das Aussehen einer feinen Säge darbieten. Das ist aber in der Mikrophotographie, wo auf scharfe Umrisse Hauptgewicht gelegt wird, ein gewaltiger Nachteil. Überdies gehen zarte Halbtöne und feinste Linien verloren.

Zur Herstellung der Autotypie hat man eine gute, hochglänzende Papierkopie (nicht das Negativ) an die Vervielfältigungsanstalt einzusenden. Letztere fertigt nach derselben durch eine Rasterplatte hindurch ein neues Negativ, welches dann zum Zwecke der Ätzung auf den Zinkstock übertragen wird. Die Rasterplatten, welche bei der Reproduktion unmittelbar vor der Kassette angebracht werden, sind mit überaus feiner Liniatur überzogene Glasplatten. Je feiner die hierdurch im Bilde erzeugte Punktierung, um so korrekter ist die Wiedergabe des Originals. Soll das Bild im Texte auf Papier mit nicht hochglänzender Oberfläche gedruckt werden, so ist die Punktierung gröber zu wählen, weil sonst die Klischees schmierig drucken. Die Kosten eines kleinen Zinkstockes stellen sich auf 5 bis 10 Mark.

Eine erst neuerdings in die Praxis eingeführte Abart der Autotypie ist die Spitzertypie, bei der eine ätzbare Metallplatte mit einer lichtempfindlichen Schicht überzogen wird. Die Ätzung geschieht, wie bei dem Verfahren von TALBOT (s. vorige Seite), durch diese Schicht hindurch. Ein Vorzug bleibt, daß ein Raster nicht zur Anwendung kommt. Bei den Bildern werden aber die Halbtöne nicht treu genug wiedergegeben. Indessen ist zu erwarten, daß das Verfahren, welches von der Spitzertypie-Gesellschaft in München ausgeübt wird, in Zukunft wesentliche Verbesserungen erfährt[1].

Erheblich höher als die Autotypie steht der Lichtdruck (vergl. Tafel II). Er beruht darauf, daß eine Gelatinechromatschicht die

[1]) M. GLASENAPP, Die Bedeutung der Spitzertypie für die Reproduktion von Mikrophotogrammen (Zeitschrift f. wissenschaftl. Mikroskopie Bd. XXIII, 1906, S. 174).

Fähigkeit besitzt, an belichteten Stellen fette Druckfarbe anzunehmen. Man bringt eine solche Schicht auf Glas, belichtet unter einem Negativ, wäscht die vom Lichte nicht getroffenen Stellen aus und walzt mit der Lederwalze fette Farbe auf. Dieselbe geht dann auf einen angepreßten Papierbogen über und man erhält einen positiven Abdruck, in dem auch die Halbtöne wiedergegeben sind. Dies Abdrucken läßt sich beliebig oft wiederholen. Man kann je nach Wunsch mit tiefschwarzer, blauschwarzer oder bräunlicher Farbe drucken. Selbst Rot, Grün und Violett wurde in vereinzelten Fällen angewendet, um im Druck die Färbung der Präparate genau wiederzugeben; doch ist letzteres eine müßige Spielerei. Blauschwarz oder Braunschwarz wirkt für das Auge am angenehmsten.

Der Lichtdruck gibt die feinsten Einzelheiten zwar nicht tadellos wieder. Gleichwohl wird sich dies Verfahren wegen seiner Einfachheit, verhältnismäßigen Billigkeit und Überlegenheit über andere Verfahren nicht so leicht aus dem Felde schlagen lassen. Der Druck der Tafeln geschieht in der Regel mit der Buchdruckerpresse und nimmt daher wenig Zeit in Anspruch. Der Preis einer Tafel stellt sich für jedes Tausend auf 50 bis 100 Mark, je nach Größe des Papiers und Zahl der darauf befindlichen, einzelnen Aufnahmen.

Beinahe jede größere Stadt besitzt Lichtdruck-Anstalten, deren Leistungen nicht allzusehr voneinander abweichen. Der Mikrophotograph richte bei der Wahl sein Augenmerk hauptsächlich auf die Körnung der Drucke und die Wiedergabe feinster Striche und Punkte.

Für den Lichtdruck eignen sich am besten klare, weiche, an Halbtönen reiche Negative. Selbst nach flauen Platten erhält man überraschend kräftige Abzüge. Harte Negative sind zu verwerfen.

Durch den Druck wird eine Umkehrung des Bildes herbeigeführt. Wünscht man ein aufrechtes Bild, welches der unter dem Negativ gefertigten Silberkopie entspricht, so müssen abziehbare Trockenplatten verwendet werden. Die abgezogene Schicht legt sich beim Kopieren an die Druckplatte besser an, als das Glasnegativ, was besonders bei großen Formaten der Schärfe des Bildes zugute kommt.

An dem Lichtdruck, der sich zur Textillustration nicht verwenden läßt, ist besonders zu tadeln, daß es schwer hält, größere Auflagen gleichmäßig herzustellen.

Heliogravüre, Photogravüre und Kupferlichtdruck sind die verschiedenen Benennungen des mit der Kupferdruckpresse und tiefgeätzter Kupferplatte geübten Verfahrens (vergl. Tafel III). Die Heliogravüre ist das vollkommenste, aber auch das teuerste aller photomechanischen Druckverfahren. Halbtöne und feine Einzelheiten werden

vortrefflich wiedergegeben, besser als bei den vorher genannten Vervielfältigungsmethoden. Der allgemeinen Verwendbarkeit steht nur der hohe Preis im Wege. Für Anfertigung der druckfähigen Kupferplatte in Größe der diesem Buche beigegebenen Heliogravüretafel (III) wird 50 Mark und mehr berechnet. Dazu kommt der Preis für jeden einzelnen Abzug in Höhe von 8 bis 10 Pfennigen. Bei einer Auflage von 1000 beträgt daher der Gesamtpreis 150 Mark und darüber. Größere Formate sind wesentlich teurer. Die verstählte Kupferplatte gestattet, ohne an ihrer Schönheit Einbuße zu erleiden, beinahe unbegrenzte Zahl von Abzügen und läßt sich für spätere Vervielfältigungen beliebig lange aufbewahren. In der Druckfarbe hat man freie Wahl; die Abzüge fallen gleichmäßig aus.

Bei Besprechung des negativen Bildes in Abschnitt VI wurde die Frage der Retusche eingehend erörtert. Bei dem positiven Bilde darf man sich in diesem Punkte kurz fassen: Positiv-Retusche irgendwelcher Art ist in der Mikrophotographie unter allen Umständen zu verwerfen. Will man Beweise seiner Geschicklichkeit im Zeichnen geben, so sind die zeitraubenden mikrophotographischen Arbeiten überflüssig.

---

4. Die Aufnahme in natürlichen Farben

Der Herzenswunsch aller Photographen: Wiedergabe der natürlichen Farben mit Hilfe der Photographie, ist gegenwärtig erst in beschränktem Maße erfüllt. Das auf diesem Gebiete Geleistete bleibt in hohem Grade beachtenswert, wenn sich auch für die allgemeine Anwendbarkeit noch keine praktischen Folgen ergeben. Von den direkten Farbenverfahren kommt vorläufig nur das Lippmannsche Interferenzverfahren in Betracht. Auf die Einzelheiten des leider sehr unsicheren und schwierigen Verfahrens einzugehen, würde viel zu weit führen. Wir beschränken uns darauf, einige neuere Veröffentlichungen über diesen Gegenstand namhaft zu machen[1].

[1]) Valenta, E., Die Photographie in natürlichen Farben. Halle 1894, Knapp.

Die Aufsätze von Dr. R. Neuhauss über das Lippmannsche Verfahren in der ‚Photographischen Rundschau' 1894, Heft 10, 11, 12; 1895, Heft 12; 1897, Heft 11, 12; 1898, Heft 1, 2, 3, 5; 1899, Heft 1, 12; 1900, Heft 1, 3, 11, 12; 1901, Heft 5; 1904, Heft 14; 1905, Heft 20; 1906, Heft 13.

Dr. R. Neuhauss, Die Farbenphotographie nach Lippmanns Verfahren. Halle 1898, Knapp.

Die nach LIPPMANNS Verfahren gewonnenen Bilder sind nicht kopierfähig. Das durch die Belichtung erzielte Bild ist, wie bei den Daguerreotypien, positiv.

Auf die Mikrophotographie wurde das LIPPMANNsche Verfahren, soviel uns bekannt, überhaupt erst ein einziges Mal angewendet, und zwar vom Verfasser[1] im Jahre 1894. Mit AUERschem Glühlicht und HARTNACKS Projektionssystem 31 mm Brw. wurde ein gefärbter Leberegel (Distomum lanceolatum) in 9facher Linearvergrößerung aufgenommen. Die Exposition beanspruchte $3^1/_4$ Stunden. Auf hochempfindlicher Bromsilberplatte würde unter sonst gleichen Verhältnissen eine Seknnde ausgereicht haben. Die hochgradige Unempfindlichkeit der für das LIPPMANNsche Verfahren erforderlichen Platten ist einer der größten Übelstände, welche diesem Verfahren anhaften.

Von den indirekten Farbenverfahren kommt dasjenige von JOLY für den Mikrophotographen kaum in Betracht, weil die farbige Liniierung die feinen Einzelheiten des Bildes nicht zur Geltung kommen läßt. Auch die verschiedenen andern Dreifarbenverfahren, welche alle daranf hinanslaufen die dreifarbigen Teilbilder in irgendeiner Weise übereinander zu schichten, konnten wegen ihrer zahlreichen Mängel in der Mikrophotographie bisher noch keinen festen Fuß fassen. Bei Aufnahmen mit stärkeren Objektiven macht sich u. a. der Größenunterschied der drei Teilbilder störend bemerkbar. Besonders erwünscht ist farbige Wiedergabe des Objektes bei Aufnahmen im polarisierten Lichte. Dr. HANS HAUSWALDT[2], der geschickteste unter den jetzt lebenden Mikrophotographen, sagt aber in der Vorrede seines Werkes über „Interferenzerscheinungen im polarisierten Licht“: „Die ursprüngliche Absicht, einen Teil der Aufnahmen in den natürlichen Farben durch Dreifarbendruck darzustellen, mußte nach wiederholten Versnchen vorläufig zurückgestellt werden, da die vorhandenen Verfahren noch nicht die Sicherheit in der Farbengebnng gewähren, die für derartige Darstellungen gefordert werden muß.“

HUGO HINTERBERGER[3] weist darauf hin, daß für die drei Teilanfnahmen tadellos durchgearbeitete, weiche Negative notwendig sind und daß daher die relativen Expositionszeiten für jedes Filter und jede Platte vorher durch Versuche genau zu ermitteln sind.

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. IX, 1894, S. 329.

[2]) Interferenzerscheinungen im polarisierten Licht. Neue Folge. Magdeburg 1904.

[3]) VI. Jahresbericht. Wien 1906, S. 14.

Achter Abschnitt

1. Die Präparate

Genaueres Eingehen auf die Herstellung der Präparate ist nicht unsere Aufgabe; Spezialwerke geben darüber Aufschluß. Die Präpariermethoden sind in unablässiger Entwicklung begriffen und wechseln mitunter im Laufe weniger Monate von Grund aus. Man denke nur an die Bakterien: Anfänglich begnügte man sich damit, wenn der Körper derselben hinreichend kräftige Färbung angenommen hatte. Gegenwärtig sollen auch die feinsten Anhängsel, die Geißeln, deutlich sichtbar gemacht werden. Wer weiß, ob die nächste Zukunft nicht ganz andere Anforderung an Bakterienpräparate stellt? In der Histologie liegen die Verhältnisse nicht anders.

Im folgenden soll erörtert werden, wie Präparate beschaffen sein müssen, um für mikrophotographische Zwecke brauchbar zu sein. Im allgemeinen gilt der Satz: Man photographiere nur die allerbesten Präparate. Nach mangelhaften Objekten hergestellte Photogramme verlohnen nicht die auf sie verwendete Mühe. Viel Verstand gehört nicht dazu, dies einzusehen, und doch mutet man dem Mikrophotographen die seltsamsten Dinge zu. Wer sich damit befaßt, in seinen Mußestunden für andere mikrophotographische Arbeiten auszuführen, weiß ein Lied davon zu singen. Kommt da ein angehender Histologe, welcher glaubt, epochemachende Neuigkeiten in seinen Präparaten entdeckt zu haben; er gesteht zwar ein, daß die Sache nicht mit sonderlicher Deutlichkeit zu sehen sei, jedoch auf dem Photogramm werde sich das schon machen, denn es steht ja allerwärts zu lesen, daß die lichtempfindliche Platte der Netzhaut des Auges überlegen ist. Unterwirft man gedachte Präparate einer Prüfung, so stellt sich heraus, daß der Verfertiger es nicht einmal der Mühe für wert erachtete, Deckgläschen aufzulegen. Der Schnitt, das Zupfpräparat oder Gott weiß welches Material, das für 30 Präparate ausgereicht haben würde,

liegt in Kanadabalsam unter einer Kruste von Staub und Schmutz begraben. Sollte gar ein Deckgläschen zur Verwendung gelangt sein, so reinigte man dasselbe vor dem Auflegen nicht, und der Lichtstrahl muß sich durch eine ansehnliche Schmutzschicht hindurcharbeiten, bevor er in das Objektiv eintritt.

Die Aufnahme eines nicht mit Deckgläschen bedeckten Objektes ist ein Unding, denn man erhält infolge von unregelmäßigem Strahlengang Zeichnungen, die keine entfernte Ähnlichkeit haben mit denjenigen, die im bedeckten Präparate erscheinen. Überdies sind unsere Objektive für Deckgläschen korrigiert.

Nun die Dicke der Objekte! Als ob es darauf ankäme, möglichst viel von dem zu untersuchenden Gegenstande auf dem Objektträger abzulagern. Bei der Okularbeobachtung kann man selbst in sehr dicken Präparaten einiges erkennen; im Lichtbilde überdecken die unscharfen Umrisse der höher und tiefer gelegenen Ebenen die scharfe Zeichnung der Einstellebene und erzeugen jene genugsam bekannten Bilder, welche die Mikrophotographie so gründlich in Verruf brachten.

Man behauptete, daß, wenn die Photographie in der Tat nur diejenigen Objekte gut wiedergibt, welche in einer Ebene liegen, der Mikrophotograph sich auf die Aufnahme von Diatomeen und Deckglas-Trockenpräparaten der Bakterien zu beschränken habe. Das ist völlig irrig. Denn erstens liegen in vielen histologischen Präparaten die Hauptdinge in einer Ebene, und es bereitet bei der großen Vollkommenheit der Mikrotome keine unüberwindlichen Schwierigkeiten, hinreichend dünn zu schneiden. Zweitens kennt der Mikrophotograph Mittel und Wege, um auch von solchen Objekten, bei denen die Hauptdinge verschiedenen Ebenen angehören, brauchbare Bilder zu erzeugen. Man verwendet in letzterem Falle zur Aufnahme schwache Objektive oder schränkt bei Benutzung stärkerer Objektive die Breite des Beleuchtungskegels auf ein möglichst geringes Maß ein (Tafel III No. I). Allerdings läßt sich hierbei über eine gewisse Grenze nicht hinausgehen. Doch schmilzt die Zahl derjenigen Objekte, mit denen selbst der geschickteste Photograph nichts anzufangen vermag, auf ein verschwindend kleines Häuflein zusammen.

Vor Jahren teilte Capranica mit, daß er ein Mittel gefunden habe, auch die verschiedensten Ebenen angehörigen Dinge eines Objektes gleichzeitig im Bilde scharf darzustellen. Carpanica schreibt darüber[1]: „Mittels des Systems der sukzessiven Pausen sei es ihm gelungen, auf derselben Platte die verschiedenen Ebenen eines be-

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. V, 1888, S. 228.

liebigen Präparates wiederzugeben, indem er anf diese Weise eine einzige Aufnahme des Ganzen bekommt".

Auch Bousfield[1] erzielte bei Anfnahme von Diatomeen, wo wesentliche Einzelheiten verschiedenen Ebenen angehören, dadurch günstige Resultate, daß er mehrere Ebenen nacheinander anf dieselbe Stelle der Platte photographierte. Bei Craspedodiscus z. B. soll man in dieser Weise drei Anfnahmen nacheinander machen. Die Gesamtexpositionszeit ist hierbei doppelt so lange, wie bei einer gewöhnlichen Anfnahme. Aufs sorgfältigste hat man darauf zu achten, daß während der Expositionen keine seitliche Verschiebnng des Präparates stattfindet. Die Entwicklnng geschieht sehr langsam unter reichlichem Bromkalizusatz. Zu ähnlichen Ergebnissen wie Bousfield, ebenfalls bei Aufnahme von Diatomeen, kam Spitta[2].

Allgemein wird sich diese Methode sicherlich nicht einführen. Bei Diatomeen liegen die Verhältnisse hierfür noch am vorteilhaftesten. Im günstigsten Falle tauscht man für mehrere, in eng begrenzten Zonen scharfe Bilder ein mäßig unscharfes Gesamtbild ein. Etwas Entsprechendes hat man übrigens bei Aufnahmen mit dem Magnesinmfunken (s. S. 162).

Die von einigen Seiten empfohlene Benutzung von blanem Glas für Objektträger und Deckglas, nm hierdurch einfarbiges blanes Licht zu erzeugen, ist zu verwerfen, denn die durch blaues Glas hindurchgehenden Strahlen haben niemals eng begrenzte Wellenlänge.

Nicht selten ist das Glas der Objektträger zu dick. Mag hierdurch auch die Widerstandsfähigkeit der Präparate größer werden, so bringt doch der weite Abstand des Objektes von der Frontlinse des Beleuchtungssystems Nachteile. Arbeitet man mit den Objektiven von Zeiss, welche eine Apertur von 1,60 haben, so müssen zu Objektträger nnd Deckgläschen Glassorten verwendet werden, welche einen Brechungsexponenten von mindestens 1,60 haben. Daß in diesem Falle für das einbettende Medium ein ebenso hoher Brechnngsexponent erforderlich ist, wurde schon früher erörtert. Bei Aufnahmen mit ultraviolettem Licht können nur Objektträger, Deckgläser und einbettende Medien verwendet werden, welche ultraviolette Strahlen hindnrchpassieren lassen (keine Harze!).

Für Sichtbarmachung ungefärbter mikroskopischer Objekte, insbesondere der Diatomeen, bleibt es vorteilhaft, wenn dieselben sich in einem Medium befinden, dessen Brechungsindex von demjenigen des

[1]) E. C. Bousfield, Guide to the science of photo-micrography. 2. Auflage S. 119. London 1892.

[2]) „Photography", Mai 1900, S. 314.

Objektes möglichst verschieden ist. Der Brechungsindex der Kieselschalen beträgt etwa 1,50. Um also den notwendigen Unterschied herbeizuführen, greift man, wenigstens bei den schwer zu lösenden Probeobjekten, zu brechenden Medien mit überaus hohem Index. Der Brechungsindex einer Lösung von Phosphor in Schwefelkohlenstoff beträgt 2,1, derjenige von Realgar 2,4. In diese Substanzen eingebettete Amphipleuren lassen sich daher spielend auflösen; doch haften beiden Medien nicht unbedeutende Nachteile an. Entwirft man nämlich das Sonnenbildchen in die Objektebene des Phosphorpräparates, so zersetzt sich das Medium augenblicklich, auch wenn die Wärmestrahlen durch geeignete Absorptionsküvetten abgefangen sind. Realgar zeichnet sich durch große Beständigkeit aus, enthält aber so viele Verunreinigungen und Kristalle, daß hierdurch die Schönheit des Bildes erheblich leidet. Durch Anwärmen vor der Aufnahme lösen sich die Kristalle, und die Masse wird mehr gleichartig; doch hält diese Wirkung nicht lange vor, und ehe man zur Aufnahme schreiten kann, sind die Kristalle wieder da. Auch erfordert die Bereitung der Realgarpräparate wegen der giftigen Dämpfe große Vorsicht. Endlich absorbiert Realgar einen großen Teil der bei Auflösung von Probeobjekten vorwiegend in Betracht kommenden kurzwelligen Strahlen.

In Zinnchlorür und Jodkalium-Quecksilberjodid eingebettete Diatomeen lassen sich ebenfalls verhältnismäßig leicht lösen; besonders gibt ersteres bei Amphipleura pellucida vortreffliche Resultate, doch ist die Haltbarkeit dieser Präparate begrenzt. Monobromnaphthalin eignet sich vorzüglich für verschiedene Diatomeen, sehr schlecht aber für Amphipleura pellucida.

Der Gedanke liegt nahe, den Unterschied zwischen Brechungsindex der Kieselschale und demjenigen des einbettenden Mediums dadurch möglichst groß zu machen, daß man die Diatomeen trocken einlegt. Bei denjenigen Schalen, welche zu ihrer Lösung eine hohe Apertur erfordern, ist dies Verfahren nicht zulässig; bei leicht zu lösenden gibt dagegen trockene Einbettung vortreffliche Bilder. Die sich bei letzterer bemerkbar machenden Unterschiede rühren davon her, daß an das Deckgläschen angeschmolzene Kieselschalen einen anderen Strahlengang bewirken, als diejenigen, welche von einer auch noch so dünnen Luftschicht überdeckt sind.

Wenn trocken eingelegte Diatomeen durch Ankleben oder Festschmelzen in unmittelbarster Berührung mit dem Deckglase stehen, so wirkt nach Dippel[1] ein Immersionssystem in diesem Falle so, als

[1]) Dippel, L., Grundzüge der allgemeinen Mikroskopie S. 160.

ob seine num. Apertur $= \frac{a + 1}{2}$, d. h. der Hälfte seiner um die Einheit vermehrten, wirklichen num. Apertur gleich wäre. Demnach kommt bei einer Ölimmersion mit 1,40 Apertur eine solche von $\frac{1,40 + 1}{2} = 1,20$ zur Wirksamkeit. Diese mit dem früher Gesagten scheinbar in Widerspruch stehende Tatsache findet ihre Erklärung durch die Brechung des Lichtstrahls, welche innerhalb der am Deckglase festhaftenden Diatomee eintritt.

Aus dem soeben Besprochenen erklären sich die verschiedenen Resultate, welche verschiedene Beobachter mit Immersionssystemen an den schwierigen, trocken eingelegten Probeobjekten, wie Frustulia saxonica, Surirella gemma und deren sogenannten guten und schlechten, d. h. an das Deckglas angeschmolzenen und vom Glase durch eine dünne Luftschicht getrennten Exemplaren erlangten.

Der Histologe und Bakteriologe bettet seine Objekte zumeist in Glyzerin oder Kanadabalsam ein. Um die zum Erkennen der feinsten Einzelheiten notwendigen Gegensätze herbeizuführen, bringt er Färbungen in Anwendung, wofern die Objekte nicht von Natur hinreichend kräftig gefärbt sind. Man darf aber niemals vergessen, daß jede künstliche Färbung ein Notbehelf ist, und daß man die Objekte zum Vergleich auch im ungefärbten Zustande untersuchen soll. Hier erweist sich die Photographie als wertvolle Helferin; denn während die Netzhaut eine hervorragende Empfindlichkeit für Unterschiede in der Färbung besitzt, beruht die Stärke der Bromsilberplatte in dem Wahrnehmen geringfügigster Helligkeitsunterschiede. Der Mikrophotograph macht die Erfahrung, daß die Aufnahme ungefärbter Präparate weniger Schwierigkeiten bereitet, als diejenige gefärbter: Man erhält bei ersterer gegensatzreiche Bilder, wo das Auge bei der Okularbeobachtung nur schwache Unterschiede wahrnimmt, und ist bei letzterer trotz der leuchtenden Farben des Objektes über die Flauheit der Negative erstaunt.

In richtiger Erkenntnis dieser Tatsachen war Koch schon vor langen Jahren mit bestem Erfolge bemüht, nicht nur die gefärbten Mumien der Bakterien, sondern auch die auf ihren Nährböden lebenden Organismen zu photographieren. In früheren Abschnitten wurde erörtert, wie man hierbei zu verfahren hat, wenn es wegen der Flüssigkeiten nicht angeht, die Präparate in senkrechte Lage zu bringen. Ein kleiner Kunstgriff erleichtert das Arbeiten erheblich: Man vermischt eine Spur der bakterienhaltigen Flüssigkeit mit einem Tropfen erwärmter Gelatinelösung; die erstarrende Gelatine fängt die

Mikroorganismen und verhindert nicht nur ihre Eigenbewegung und die sehr störende Molekularbewegung, sondern auch die nach den Gesetzen der Schwere eintretende Lageveränderung des Tropfens, ohne hierbei die Form der aufzunehmenden Lebewesen im mindesten zu ändern. In gleicher Weise verfuhr VALENTA[1] beim Photographieren von Fettkügelchen der Milch.

In dem Abschnitt über Aufnahmen mit ultraviolettem Licht wiesen wir bereits darauf hin, daß bei dieser Methode die Bilder ungefärbter Präparate den Eindruck machen, als ob künstliche Färbungen, welche die verschiedenen Gewebselemente deutlicher hervortreten lassen, angewendet sind (s. S. 165).

Für die Aufnahme ist es nicht gleichgültig, mit welcher Farbe die Objekte gefärbt sind. Schwarzfärbung bleibt für die Mikrophotographie das Günstigste. Aber nicht alle Objekte tun uns den Gefallen, sich schwarz färben zu lassen. Während z. B. fast alle Bakterien rote und blaue Anilinfarbstoffe verhältnismäßig leicht annehmen, ist Schwarzfärbung mit großen Umständlichkeiten verknüpft und gelingt in manchen Fällen überhaupt nicht. Ein gleiches gilt von der Braunfärbung, die für die lichtempfindliche Platte, die Erythrosinplatte nicht ausgenommen, dieselbe Wirkung hat wie Schwarz. Bei allen übrigen Färbungen spielt die Empfindlichkeit der verwendeten Platte für bestimmte Farben eine Hauptrolle. Blau und violett gefärbte Präparate liefern mit gewöhnlicher Bromsilberplatte wenig befriedigende Resultate, während ein gleiches bei Gelbfärbung für die Erythrosinplatte gilt.

Es gibt ein einfaches Mittel, jegliche Art der Färbung für die Netzhaut sowohl wie für die lichtempfindliche Platte in Schwarz umzuwandeln: Man beleuchtet mit einem Licht, welches durch die Farbe der Präparate verschluckt wird. Ist beispielsweise das Objekt gelb oder braun gefärbt und wird mit blauen Strahlen beleuchtet, so erscheint dasselbe auf der Visierscheibe schwarz auf blauem Grunde.

Nach dem Vorgange von KOCH verfährt man, um systematisch zu Werke zu gehen, folgendermaßen: Man prüft die zur Färbung verwendeten Lösungen im Spektroskop und ermittelt diejenigen Lichtarten, welche geeignet sind, das Spektrum der Farblösungen auszulöschen. Hierbei ergibt es sich zum Beispiel, daß das Spektrum von Bismarckbraun — ein heller Streifen zwischen den Linien *D* und *E* — ausgelöscht wird, wenn man eine mit Kupferoxydammoniak gefüllte Küvette in den Gang der Strahlen einschaltet; denn letztere

[1]) Photographische Korrespondenz 1899 S. 222.

Lösung läßt in hinreichender Konzentration angewendet nur Strahlen hindurchtreten, deren Spektrum außerhalb des Zwischenraumes zwischen den Linien *D* und *E* liegt.

Bei dem Fuchsinspektrum überrascht, daß die dem Auge rot erscheinende Fuchsinlösung eine so reichliche Menge blauer und violetter Strahlen hindurchtreten läßt. Dadurch wird erklärlich, weshalb mit Fuchsin gefärbte Präparate bei Verwendung der gewöhnlichen Trockenplatten ohne Lichtfilter nicht die klaren Negative ergeben, welche man bei der Unempfindlichkeit dieser Platten gegen Rot erwarten müßte: Die den roten beigemischten blauen und violetten Strahlen verändern die Silberschicht auch an den Stellen, welche blank bleiben sollten.

Eine vortreffliche Studie über Färbungen der Präparate mit Methylviolett (6 *B*), Karbolfuchsin und Methylenblau, und über die Farbfilter, welche, um Schwarz zu erzeugen, zu jenen Färbungen am besten passen, veröffentlichte TAVEL[1]: Bei Präparaten, die mit Methylviolett gefärbt sind, hat man das ZETTNOWsche Filter (s. S. 70) zu verwenden. Bei Färbungen mit Karbolfuchsin ist dem ZETTNOWschen Filter noch eine Küvette hinzuzufügen, welche bei 7 mm dicker Schicht in 40 ccm Wasser 3 Tropfen LOEFFLERscher Methylenblaulösung enthält. Bei Färbungen mit Methylenblau verwendet man außer dem ZETTNOWschen Filter noch eine Küvette, welche bei 7 mm dicker Schicht in 40 ccm Wasser 4 Tropfen ZIEHLscher Karbolfuchsinlösung enthält. Daß man bei Färbungen mit Methylenblau und Karbolfuchsin mit dem ZETTNOWschen Filter allein nicht auskommt, hat seinen Grund darin, daß genannte beide Farblösungen grüne Strahlen hindurchlassen, welche nur durch Hinzufügen der soeben beschriebenen Küvetten zu beseitigen sind.

Die ausführlichsten Untersuchungen über Präparatfärbungen und zugehörige Absorptionsfilter verdanken wir Dr. WALTER GEBHARDT[2]. Er weist darauf hin, daß die spektroskopische Untersuchung der zur Färbung benutzten Farbstofflösungen irreführend ist; denn diese Lösungen zeigen oft ein durchaus anderes spektroskopisches Verhalten, als die mit ihnen gefärbten Teile eines Präparates. Um sicher zu gehen, muß man das gefärbte Präparat mit einem Mikrospektroskop untersuchen, um diejenigen Farblösungen zu ermitteln, welche die Färbung des Präparates auslöschen.

---

[1]) Internationale medizinisch-photographische Monatsschrift Bd. I, 1894, S. 195.

[2]) Photographische Rundschau 1899, Heft 2. — Internationale photographische Monatsschrift für Medizin 1899 S. 49.

Auf demselben Gebiete arbeitete Monpillard[1]. Er schreibt für die verschiedensten Präparatfärbungen vor, welche Lichtfilter zu wählen und mit welchen Farbstoffen die Platten zu sensibilisieren sind.

Prof. F. C. C. Hansen[2] gab für anatomische Präparate eine Reihe von Färbungen an, welche sich wegen ihrer schwärzlichen Töne für die Mikrophotographie vorzüglich eignen und in der Mehrzahl der Fälle ein besonderes Farbenfilter überflüssig machen.

Je weniger kräftig die Färhung der Objekte ist, um so gesättigtere Lösungen hat man für die Absorptionsküvetten zu verwenden, will man dunkle Zeichnung auf hellem Grunde erhalten.

Nach obigen Methoden lassen sich rot, blau und violett gefärbte Präparate mit derselben Leichtigkeit photographieren, wie hraun gefärbte. Ehenso werden nebeneinander verschiedene Farben, wie Rot und Blau, im Bilde gleichwertig wiedergegehen. Dies hedeutet einen ungeheuren Fortschritt, wenn man hedenkt, daß die Mikrophotographen früher der Meinung waren, man könne nur von braun gefärbten Objekten gnte Photogramme herstellen.

Andern gekünstelten, nnd in ihren Erfolgen zweifelhaften Methoden (z. B. derjenigen, welche Rheinberg[3] vorschlägt), um im Präparate die Gegensätze zwischen Objekt und Hintergrund zu steigern, können wir für die Mikrophotographie irgendwelche Berechtigung nicht zugestehen. Bei gefärhten Präparaten wird man mit den im vorhergehenden geschilderten Verfahren unter allen Umständen auskommen, und bei ungefärbten Ohjekten sind, weil die Platte gegen den Unterschied von hell und dunkel sehr empfindlich ist, die Schwierigkeiten, gegensatzreiche Bilder zu erlangen, weit geringfügiger, als hei gefärbten.

Nicht jedermanns Sache ist es, Präparate, die er photographieren will, selhst herzustellen. Es gibt nun sowohl im Inlande wie im Auslande eine nicht unbeträchtliche Anzahl von Handlungen, welche den Vertrieh mikroskopischer Präparate als mehr oder minder ausschließliches Geschäft betreiben. Bei dem Ankauf von Präparaten sei man auf seiner Hut und nehme nicht das erste beste Ohjekt, welches der Händler anhietet; denn meist findet man in den Handlungen nehen Vortrefflichem auch recht mangelhafte Ware. Für mikrophotographische Aufnahmen eignet sich aber nur das Vorzüg-

[1]) „The Photogram" 1898 S. 343. — Internationale photographische Monatsschrift für Medizin 1898 S. 248.

[2]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. XXII, 1905, S. 45 bis 90.

[3]) Journal of the Royal Microscopical Society 1896 S. 374.

lichste. Von deutschen Firmen leisten hervorragend Gutes: MÖLLER in Wedel (Holstein) und KLÖNNE & MÜLLER in Berlin (Luisenstraße 49); erstere besonders in Diatomeenpräparaten, letztere in histologischen und bakteriologischen Objekten. Die von den Händlern in ihren Katalogen angebotenen Diatomeentypenplatten, welche die verschiedenen Arten in Reihen angeordnet tragen[1], haben für den Mikrophotographen nur dann Wert, wenn es sich darum handelt, eben diese Reihen zu veranschaulichen. Kommt es dagegen auf eine bestimmte Diatomeenart, die man darstellen will, an, so sind Einzelpräparate vorzuziehen. Man wird selbst in nicht sehr vollkommenen Präparaten die eine oder andere Schale herausfinden, welche sich weit besser löst, als die übrigen. Zu bedenken ist auch, daß die verschiedenen Schalen für beste Lösung ganz verschiedene Medien beanspruchen. Bei den Reihenpräparaten sind alle Schalen in demselben Medium eingebettet (in einer Mischung von Monobromnaphthalin mit Kanadabalsam). Es wäre aber Torheit, eine Amphipleura pellucida gut lösen zu wollen, die in einem solchen Medium liegt.

2. Die Bedeutung der Mikrophotographie

Nachdem sich die erste Freude darüber, daß es möglich ist, mit Hilfe des Lichtes das Bild eines mikroskopischen Objektes herzustellen, gelegt hatte, betrachtete man, durch die vielen Mißerfolge stutzig gemacht, den mikrophotographischen Apparat mit mißtrauischen Augen und hielt die Mikrophotographie für eine bedeutungslose Spielerei. Vereinzelte hervorragende Leistungen vermochten den Glauben nicht zu erschüttern, daß die Sache praktischen Wert nicht besitze. Zudem beschränkten sich die guten Aufnahmen fast ausschließlich auf das Gebiet der Diatomeen; der Histologe, welcher wohl wünschte, seine Präparate photographiert zu sehen, blieb unbefriedigt. Die Mikrophotographie krankte ferner an der umständlichen und schwierigen Behandlung der lichtempfindlichen Platte: Der Gelehrte verstand nicht, mit dem Jodkollodium, den Silberbädern und Hervorrufern umzugehen; der hiermit genau vertraute Fachphotograph verstand nichts von Präparaten und Behandlung des Mikroskops. Hierzu kam die Mangelhaftigkeit der Objektive, insbesondere ihre Fokusdifferenz und die wegen der

[1]) MÖLLER empfiehlt Typenplatten mit 1600 verschiedenen Diatomeen (Preis eines Präparates 1600 Mark).

unempfindlichen, nassen Platte bedingte Notwendigkeit, sehr kräftiges Licht, wenn möglich direktes Sonnenlicht, anzuwenden. Waren durch ungewöhnliches Geschick und staunenswerte Ausdauer alle diese Hindernisse überwunden, so blieb der Lohn verhältnismäßig dürftig, denn kein Lichtdruckverfahren ermöglichte, die gewonnenen Resultate weiteren Kreisen zugänglich zu machen, und die Herstellung der Silberkopien erforderte viel Zeit und Geld. Das Ende vom Liede blieb der ‚Holzschnitt nach einer Photographie'. Nicht mit Unrecht fragte man sich: Wozu die viele Mühe, wenn das Bild schließlich doch der Auffassung des Zeichners überlassen bleibt?

Die Veröffentlichungen von Robert Koch (1877 und 1881) ließen die Bedeutung der Mikrophotographie mit einem Schlage in ganz anderem Lichte erscheinen. Koch bewies an einer großen Reihe vortrefflich gelungener Mikrophotogramme, daß der geschickteste Zeichner die Objekte nicht schärfer und naturwahrer zur Darstellung bringen kann, als die lichtempfindliche Platte. Er photographierte die zartesten Gebilde, welche die Natur schuf, die dem Auge selbst im besten Mikroskop schwer erkennbaren Geißelfäden der Bazillen, und zeigte, daß allein durch das Photogramm gewisse Streitfragen zu entscheiden sind. In bezug auf letzten Punkt zog er ein lehrreiches Beispiel an: Lewis[1] hatte behauptet, daß die Rekurrensspirillen, welche in Indien den Rückfallstyphus erzeugen, sich unterscheiden von den europäischen Spirillen; erstere seien wesentlich breiter als letztere. Zum Beweise seiner Behauptung fertigte er Aufnahmen der indischen Spirillen. Koch verglich diese Aufnahmen mit den seinigen, welche er nach europäischen Präparaten hergestellt hatte, und sah sofort, daß die angebliche, größere Dicke der indischen Exemplare lediglich Kunstprodukt ist, hervorgerufen durch Beleuchtung mit zu schmalem Lichtkegel. Die hierbei auftretenden Interferenzsäume, welche Lewis mitgemessen hatte, verbreitern den Leib der Spirille nicht unerheblich. Hiermit war diese Streitfrage aus der Welt geschafft.

Drei Umstände erleichterten es Koch, die Mikrophotographie auf eine hohe Stufe der Bedeutung zu erheben: Die Verbesserung des mikrophotographischen Apparates durch Fritsch, die photographischen, von Fokusdifferenz freien Objektive von Seibert und Krafft und die Vervollkommnung des Lichtdruckverfahrens, welche die Herstellung brauchbarer, die Einzelheiten des Negatives richtig wiedergebender Drucke gestattete.

---

[1]) Lewis, The microscope organism found in the blood of man and animals. Kalkutta 1879.

Durch Einführung der hochempfindlichen Bromsilber-Trockenplatten gewann die Mikrophotographie wesentlich an Bedeutung. Das Photographieren war nunmehr kein Privilegium der Fachphotographen und einiger besonders begabter Laien. Jeder konnte ohne genauere Vorkenntnisse eine Platte belichten und entwickeln. So blieb es nicht aus, daß sich zahlreiche Gelehrte und Ungelehrte des Gegenstandes bemächtigten, um auf diesem wenig betretenen Gebiete Lorbeern einzuheimsen. Der Erfolg war denn auch ein großartiger für den — Kameratischler; ungezählte ‚neue' Apparate schossen wie Pilze aus der Erde, aber die sehnlichst erwarteten Photogramme blieben aus. Man schrieb Bücher, erhob die Bedeutung der Mikrophotographie bis in den Himmel. Wer aber unbefangen die beigegebenen Probeaufnahmen durchmusterte, mußte glauben, daß die Sache völlig bedeutungslos sei. Man wende nicht ein: erst durch die allerneuesten Verbesserungen der Objektive und durch Einführung guter Lichtfilter und der orthochromatischen Platte seien tadellose Resultate möglich geworden. Was sich mit den alten, unvollkommenen Hilfsmitteln leisten läßt, bewies Koch zur Genüge. Die Schuld lag einzig an den Menschen und nicht an den Hilfsmitteln.

Betrachten wir nunmehr, worin die Bedeutung der Mikrophotographie besteht.

Zeichnen ist nicht jedermanns Sache; die tüchtigsten Forscher haben in diesem Punkte häufig das größte Ungeschick. Außerdem erfordert die sorgfältige Ausführung der Zeichnung mehr Zeit, als den meisten Mikroskopikern zur Verfügung steht. Die Zeichnung von anderen fertigen zu lassen, bleibt also der zumeist eingeschlagene Weg. Nun weiß jeder, daß die Auffassung sehr verschieden sein kann. Die subjektive Auffassung des Zeichners ist ein Punkt, mit dem man unter allen Umständen zu rechnen hat. Hier liegt der Kern der Sache: Das Photogramm gibt den Gegenstand objektiv wieder. Wie sieht es aber bei näherer Betrachtung mit der vielgerühmten Objektivität aus? Vor allen Dingen bildet die lichtempfindliche Platte alles, was nicht zum Objekte gehört, mit erschreckender Objektivität ab, so die Verunreinigungen des Präparates und die Diffraktionssäume. Dazu kommen noch Reflexe, auf der Platte abgelagerte Staubteilchen, Plattenfehler, konzentrisch angeordnete kleine Kreise, welche den Newtonschen Farbenringen ähneln, und Gott weiß welche Zutaten, die, jede in ihrer Art, der Naturwahrheit des Bildes empfindlich Abbruch tun.

Abgesehen von diesen Dingen zeichnet sich das Bild durch das Licht keineswegs so naturwahr, wie die meisten glauben. Bei zu

langen oder zu kurzen Expositionen gehen Einzelheiten verloren, vielleicht diejenigen, auf welche es hauptsächlich ankommt. Auch die Art der Entwicklung vermag gewaltige Abweichungen herbeizuführen. Wir greifen noch einmal auf das bereits angeführte Beispiel der Tunnelmembran im Cortischen Organ zurück: Der Mikrophotograph beweist durch eine Aufnahme, daß die Membran vorhanden, ja daß im Querschnitt nicht eine einzige Faser, sondern mehrere Fasern sichtbar werden. Er beweist durch eine andere Aufnahme nach demselben Gesichtsfelde desselben Präparates, daß die Membran nicht vorhanden ist; er hat sie absichtlich oder unabsichtlich im dicken Silberniederschlage des Negatives verschwinden lassen.

Entsprechendes bewerkstelligt man bei Bakterienaufnahmen. Es ist leicht, vorhandene Geißelfäden zur Darstellung oder nicht zur Darstellung zu bringen. Da nämlich diese feinsten Gebilde den Farbstoff weniger kräftig aufnehmen, als die Körper der Bakterien, so vermögen sie auch nur einen schwächeren Eindruck auf der Platte zu hinterlassen, als letztere. Dieser Eindruck kann durch Überbelichtung oder Entwicklung völlig verwischt werden.

Auch läßt sich die Breite sehr feiner Striche im Negativ beliebig abändern, so daß in dieser Beziehung das Photogramm nicht als untrügliches Beweismittel gelten darf. Bei Unterexpositionen erscheinen die im Negativ hellen Linien breiter als bei richtiger oder zu langer Belichtung.

Große Unterschiede sind ferner beim Kopieren herbeizuführen. Dasselbe Negativ gibt verschiedene Abdrücke, je nachdem man hart oder weich kopierende Papiere verwendet; dasselbe Chlorsilbergelatinepapier liefert verschiedene Resultate, wenn man mit alten oder frisch angesetzten Tonfixierbädern tont. Diese Dinge beweisen zur Genüge, daß der Mikrophotograph Mittel an der Hand hat, gewisse Einzelheiten im Bilde mehr oder minder deutlich hervortreten oder auch ganz verschwinden zu lassen. Das ist die Objektivität des Mikrophotogramms! Wir können behaupten, daß ein Lichtbild nur dann Anspruch auf Objektivität erheben darf, wenn dasselbe hergestellt ist, von einem ehrlichen, nach allen Regeln der Kunst arbeitenden und reichlich mit Geduld und Geschick begabten Mikrophotographen.

Wie steht es nun mit der Leistungsfähigkeit der Mikrophotographie? Sieht die lichtempfindliche Platte weniger als die Netzhaut des Auges, sieht sie mehr als die letztere oder bestehen keine nennenswerte Unterschiede? Eins steht fest: Die Platte bleibt hinter dem Vermögen des Auges weit zurück, wenn ein Ungeschickter sie behandelt.

Ob, wie behauptet wurde, die Platte dem Auge darin überlegen ist, daß erstere durch sehr kräftiges Licht nicht geblendet wird, lassen wir dahin gestellt sein. Der Umstand, daß die sehr kräftigen Lichtarten: Sonnenlicht, elektrisches Bogenlicht und dergl., reich an kurzwelligen Strahlen sind, veranlaßte die Auffassung, daß die hiermit erzielten günstigen Resultate der das Auge blendenden Kraft des Lichtes zuzuschreiben sind. Bei zahllosen Versuchen konnte Verfasser niemals einen Unterschied feststellen zwischen den mit Sonnenlicht und schwachem Lampenlicht erhaltenen Bildern, vorausgesetzt natürlich, daß in beiden Fällen mit derselben Wellenlänge gearbeitet wurde.

Mit Recht sagt Koch[1], daß die Platte bei Wahrnehmung der feinsten Lichtunterschiede nicht ermüdet, während bei dem Auge sehr bald Ermüdung eintritt. Noch mehr als dies: Auch das nicht ermüdete Auge nimmt Helligkeitsunterschiede nur dann wahr, wenn dieselben nicht unter eine gewisse Grenze herabsinken. Für die Silberschicht besteht ebenfalls eine Grenze, aber dieselbe liegt tiefer, als diejenige für die Netzhaut. Auf der Platte addieren sich die Lichteindrücke. Außerdem hat man es in der Hand, die im Negativ an der Grenze der Wahrnehmbarkeit stehenden Helligkeitsunterschiede durch nachfolgende Verstärkung deutlicher sichtbar zu machen. Da sich diese Verstärkung auch noch auf das positive Glasbild ausdehnen läßt, so ist man in der Tat imstande, Gegensätze herbeizuführen, wo das Auge im Präparate solche nicht wahrnimmt. Verfasser hatte Gelegenheit, dies an einem lehrreichen Beispiele zu erfahren[2]: Es handelte sich um den Nachweis der Geißeln an den Kommabazillen der asiatischen Cholera. Alle Färbeversuche, welche diese Gebilde sichtbar machen sollten, schlugen fehl; aus diesem Grunde wurde der ehedem von Koch mit großem Erfolge betretene Weg eingeschlagen: Das Photographieren der ungefärbten Bakterien. Schon war eine stattliche Reihe von Platten[3] erfolglos geopfert, als auf einem Negativ

[1]) Cohn, Beiträge zur Biologie der Pflanzen Bd. II S. 408. Breslau 1877.

[2]) Neuhauss, R., Über die Geißeln an den Bazillen der asiatischen Cholera: Zentralblatt für Bakteriologie und Parasitenkunde Bd. V, 1889, S. 81.

[3]) Loeffler, Zentralblatt für Bakteriologie und Parasitenkunde Bd. VI, 1889, S. 218, irrt, wenn er annimmt, Verfasser hätte in einem nur wenige bewegliche Bazillen enthaltenden Präparate „in dem ersten besten, bei der starken Vergrößerung jedenfalls nur ein winziges Teilchen des Präparates darstellenden Gesichtsfelde gleich zwei Bazillen mit Geißeln durch die Photographie entdeckt“. Es waren bereits zahlreiche Gesichtsfelder auf photographischem Wege durchgemustert, als die geißeltragenden Bazillen

an einem kurzen, stark gekrümmten Bazillus eine feine, korkzieherartig gewundene Geißel erschien. Bei wiederholter Aufnahme desselben Gesichtsfeldes in etwas anderer Ebene zeigte es sich, daß auch noch ein anderer Bazillus mit einer Geißel versehen war. Obgleich nunmehr durch das Photogramm die geißeltragenden Bazillen sich ermitteln ließen, so war es doch dem Auge nicht möglich, die Geißeln im Präparate wahrzunehmen; sie lagen für die Netzhaut jenseits der Grenze des Erkennungsvermögens. Einige Monate später gelang es LOEFFLER, die Choleragcißeln durch geeignete Färbungsmethoden sichtbar zu machen.

Man hüte sich wohl, den soeben besprochenen Fall, in dem mehrere besonders günstige Umstände zusammentrafen, zu verallgemeinern. Ganz irrig wäre die Auffassung, daß man bei geißeltragenden Bakterien, deren Geißeln bei der Okularbeobachtung nicht wahrgenommen werden, nur zum mikrophotographischen Apparate zu greifen braucht, um diese feinsten Gebilde zur Darstellung zu bringen. Wenn KOCH sagt (COHN S. 408), er habe mitunter auf dem Negativ, wofern das Bild nur scharf eingestellt gewesen war, feine Objekte, z. B. feinste Geißelfäden, gefunden, welche er nachträglich nur mit äußerster Mühe und unter den günstigsten Beobachtungsverhältnissen im Mikroskop erblickte, so machten großsprecherische Nichtswisser daraus, man könne die Geißelfäden nur durch die Photographie nachweisen. Die von KOCH und anderen photographierten, gefärbten und ungefärbten Geißelfäden lassen sich der Regel nach auch recht gut bei der Okularbeobachtung wahrnehmen. Freilich hat man es in der Gewalt, sie im negativen und positiven Bilde durch nachfolgende Verstärkung weit deutlicher sichtbar zu machen, als sie in Wirklichkeit sind.

Noch ein Beispiel für die Überlegenheit der Trockenplatte über das Auge: Bei den nach LIPPMANNS Verfahren hergestellten farbigen Bildern (s. S. 238) beruht nach der ZENKERschen Theorie das Auftreten der Farben auf dem Vorhandensein sehr feiner Silberlamellen in der Bildschicht. Diese Lamellen haben einen gegenseitigen Abstand, welcher den halben Wellenlängen des Lichtes entspricht, also ungefähr dem Abstande der Querstreifen bei Amphipleura pellucida gleichkommt. Niemand sah diese feinen Lamellen; gewichtige Gründe sprachen sogar gegen ihr Vorhandensein. Verfasser untersuchte nun Querschnitte LIPPMANNscher Bildschichten; aber die Lamellen waren

im Photogramm erschienen. Da es sich um eine mehrere Wochen alte Cholerakultur handelte, so hatte die Mehrzahl der Bazillen ihre Beweglichkeit eingebüßt, also auch wohl ihre Geißeln abgestoßen.

mit Sicherheit nicht nachzuweisen. Wegen des dunkelbraunen Silberniederschlages und der naturgemäß ziemlich dicken Präparate sind die Verhältnisse wesentlich ungünstiger, als bei der überaus zarten Amphipleura pellucida. Freilich machte es an einzelnen, besonders günstigen Stellen den Eindruck, als ob doch Lamellen vorhanden waren. Verfasser griff zum mikrophotographischen Apparate. Nach ungewöhnlich langer Belichtung mit kräftigstem Kalklichte unter Benutzung kurzwelliger blauer Strahlen erschien im Negativ bei viertausendfacher Linearvergrößerung die prächtigste Streifung. Das Vorhandensein der Lamellen war erwiesen[1].

Alle diese Fälle beziehen sich nur auf Aufnahmen mit einem Lichte, welches auch dem Auge wahrnehmbar ist. Durch Einführung des ultravioletten Lichtes in die Mikrophotographie (s. S. 161) sind die Verhältnisse andere geworden. Wie früher auseinandergesetzt, sieht die mit ultraviolettem Lichte bestrahlte Platte wesentlich mehr, als das Auge. Von verschiedenen Forschern wurden durch wohlgelungene Aufnahmen die schlagendsten Beweise hierfür erbracht. Eine Auflösung der Amphipleura pellucida, wie wir sie auf Tafel II sehen, nahm direkt im Mikroskop noch kein Auge wahr.

Wir sind hier noch nicht am Ende der Fortschritte angelangt. Ist gegenwärtig die Cadmiumlinie ($\lambda = 275$) das kurzwelligste Licht, mit dem der Mikrophotograph arbeiten kann, so wird es nicht lange währen, bis diese Grenze erheblich überschritten ist. Dann wird das Auge der Platte unserem Auge weitere Geheimnisse offenbaren.

Die Grenze des Naturerkennens auch nur um ein kleines Stück hinauszurücken, gehört zu den schwierigsten Aufgaben. Die Einführung des ultravioletten Lichtes in die Mikrophotographie ist daher ein großartiger Erfolg menschlichen Scharfsinnes.

Mil Hilfe der Mikrophotographie ist man imstande, verschiedene Objekte unmittelbar in bezug auf Größe, Form usw. untereinander zu vergleichen. Von besonderer Wichtigkeit wird dies, wo es sich um Vergleichung der Größenverhältnisse verschiedener Vegetationsformen desselben Mikroorganismus handelt. Cholera, Typhus, Milzbrand und viele andere Bazillen zeigen in ihrer Größe die gewaltigsten Unterschiede. Um hiervon eine richtige Vorstellung zu gewinnen, müßte man so viele Mikroskope nebeneinander aufstellen, als ver-

[1]) Dr. R. Neuhauss, Die Farbenphotographie nach Lippmanns Verfahren. Halle 1898, Knapp. (Eine beigefügte Lichtdrucktafel veranschaulicht die durch stehende Lichtwellen erzeugten dünnen Zenkerschen Blättchen.)

schiedene Präparate zu vergleichen sind; denn in der bei dem Auswechseln der Präparate und dem Aufsuchen des besten Gesichtsfeldes verstreichenden Zeit blaßt der Eindruck, welchen das vorher beobachtete Präparat bei dem Beschauer zurückließ, nicht unwesentlich ab. Sind Mikrophotogramme zur Stelle, so kann auch der mit dem Gebrauch des Mikroskops nicht Vertraute die Vergleichung vornehmen.

Kommt es auf genaueste Messungen an, so sind dieselben am Negativ oder Diapositiv auszuführen, da das Papierbild sich in den Bädern stark verzieht.

In bezug auf den Wert der Mikrophotographie für gerichtliche Fälle führt Jeserich ein Beispiel an: In der Hand eines Ermordeten fanden sich einige Haare, die dem Mörder im Kampfe ausgerissen waren. Bei zwei der Tat Verdächtigen untersuchte man deshalb die Haare. Diejenigen des einen Verhaften stimmten genau mit den bei der Leiche gefundenen Proben überein, was sich aus drei nach den Präparaten gefertigten Mikrophotogrammen aufs deutlichste ergab. Wenn nun auch die Aussage des Sachverständigen genügt, um den Tatbestand festzustellen, so macht es auf Richter und Geschworene doch einen andern Eindruck, wenn sie sich durch eigene Anschauung ein Urteil bilden können. Mitunter mag es auch in der Gerichtspraxis von Wichtigkeit sein, nach leicht vergänglichen Präparaten Mikrophotogramme herzustellen, um besonders bei Meinungsverschiedenheiten verschiedener Sachverständiger das Beweismaterial jederzeit einer erneuten Prüfung unterziehen zu können. Allzu großen Hoffnungen darf man sich allerdings in diesem Punkte nicht hingeben; denn wenn die Dinge so verwickelt liegen, daß sich die Sachverständigen nicht einigen, so wird das Mikrophotogramm in den seltensten Fällen Aufklärung schaffen.

Die Bedeutung der Mikrophotographie wird außer durch die bereits erwähnten Veröffentlichungen von Koch in das hellste Licht gesetzt durch den unter R. Kochs Aufsicht von Fraenkel und Pfeiffer herausgegebenen ‚Atlas der Bakterienkunde‘ (Berlin 1889/90, Hirschwald). Nicht, als ob in demselben neue Wahrheiten über den Bau der Mikroorganismen verkündet würden; der Wert des ‚Atlas‘ beruht vielmehr auf der übersichtlichen Darstellung der verschiedenen Formen der Bakterien. Dem Bakterienforscher, welcher abgelegen wohnt von den großen Mittelpunkten des Verkehrs und der Wissenschaft, wird durch die nach musterhaften Präparaten hergestellten Aufnahmen ein Mittel in die Hand gegeben, seine eignen Präparate auf ihren Wert oder Unwert hin zu prüfen. Die Zahl der Beispiele dieser Art ließe

sich an der Hand der neueren Erscheinungen auf dem Gebiete der Mikrophotographie wesentlich vermehren.

Auch nach einer andern Richtung hin kann die Mikrophotographie für den Forscher von Bedeutung sein: Die wenigsten Mikroskopiker besitzen hinreichende Fertigkeit im Zeichnen. Soll nun für Veröffentlichungen eine Zeichnung hergestellt werden, so kann die Kopie einer mikrophotographischen Aufnahme in bester Weise hierfür als Unterlage dienen. Nachdem man, was auch für den Ungeübten leicht ist, den Abzug mit Bleistift oder unverwaschbarer Tusche übermalt hat, wird das photographische Bild auf chemischem Wege entfernt; nur die Zeichnung bleibt übrig. Maalöe[1] schlägt vor, die photographische Kopie auf Eisenblaupapier oder (falls nötig, in Vergrößerung) auf Bromsilberpapier herzustellen. Das Eisenblaubild läßt sich dadurch entfernen, daß man den Abzug in einprozentiger Natronlauge, und dann in einprozentiger Salzsäure badet, worauf gut auszuwaschen ist. Die Bromsilberbilder sind dagegen in zweiprozentiger Lösung von Eisenchlorid gut auszuwaschen und dann in Fixiernatron (2 %) zu legen, worauf wieder auszuwaschen ist.

Das Überzeichnen kann auch auf den gebräuchlichen Chlorsilberpapieren (Aristo- oder Celloïdinpapier) geschehen. Hier läßt sich das Silberbild durch Baden in Quecksilbersublimatlösung (2 : 100) ausbleichen.

3. Mikrophotogramme

Die ersten brauchbaren Mikrophotogramme lieferte Donné in Paris, der schon im Jahre 1840 der Akademie Aufnahmen mehrerer naturgeschichtlicher Objekte und einiger histologischer Präparate vorlegte, welche er mit dem Mikroskop auf Daguerreotypplatten gefertigt hatte. In Deutschland befaßte sich der Wiener Anatom Berres (1846) zuerst mit der Sache und bediente sich für seine Daguerreotypie des Sonnenmikroskopes. Im Jahre 1845 veröffentlichte Donné in Verbindung mit Léon Foucault einen Atlas, der sich auf das Studium der Flüssigkeiten des Organismus bezog und dessen zahlreiche Abbildungen (80) nach den mit Hilfe des Sonnenmikroskops gefertigten Daguerreotypien gestochen waren[2]. Nach dem Urteile der Zeit-

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. XII, 1896, S. 449.

[2]) Donné, A., et L. Foucault, Atlas du cours de microscopie exécuté d'après nature au microscope daguerréotype. Paris 1845.

genossen war die Feinheit der Originalaufnahmen unübertrefflich. Da es kein Mittel gab, die Daguerreotypie direkt auf mechanischem Wege zu vervielfältigen, so sah man sich gezwungen, die Bilder durch den Stecher auf die Kupferplatte übertragen zu lassen. Dem Beispiele von Donné und Foucault folgten in Frankreich Charles und Vincent Chevalier.

Als das durch Fox Talbot eingeführte Verfahren die Möglichkeit bot, mit Negativpapier gefertigte Originalaufnahmen auf photographischem Wege zu vervielfältigen, benutzte man dies unverzüglich für die Mikrophotographie. Im Jahre 1847 legte Carpenter der Versammlung der British Association nach Talbots Angaben hergestellte Kopien mikroskopischer Objekte vor. Da jedoch das grobe Korn des Papieres ein unübersteigliches Hindernis der getreuen Wiedergabe feinster Einzelheiten bildete, so fand Carpenter wenig Nachahmer. Nach Erfindung der Glasnegative mehrte sich die Zahl der brauchbaren Mikrophotogramme. Schon 1853, also zwei Jahre nach Einführung der Kollodiumplatten, sah Gerlach beim Apotheker Mayer in Frankfurt a. M. wohlgelungene Aufnahmen von mikroskopischen Versteinerungen aus dem Guano, und 1854 bei dem Optiker Nachet in Paris ausgezeichnet schöne, bei 300facher Vergrößerung gefertigte Bilder des Blutes verschiedener Tiere. Von nun an wurde die Mikrophotographie besonders auch in England und Amerika mit großem Eifer betrieben, und es zeichneten sich auf diesem Gebiete aus: Hodgson (1853), Shadbolt (1853), Kingsley (1853), Huxley und Wenham (1855). Im Jahre 1857 legten Pohl und Weselsky der Wiener Akademie Mikrophotogramme vor, welche mit polarisiertem Licht aufgenommen waren. Um dieselbe Zeit unterbreitete Bertsch den Pariser Akademikern seine Mikrophotogramme, welche er bald darauf in dem groß angelegten Werke: ‚Études d'histoire naturelle au microscope‘ veröffentlichte. Ein ganz ähnliches Werk, der ‚Atlas der allgemeinen, tierischen Gewebelehre‘ wurde 1861 herausgegeben von Dr. v. Hessling und Jul. Kollmann (Leipzig, Engelmann.) Die Mikrophotogramme rühren von Jos. Albert in München her. Die Leistungen der photographischen Technik sind in dem französischen Werke bedeutender; dagegen wurden die Präparate in dem deutschen Werke sorgfältiger ausgewählt.

1861 erschien ferner das Album mikroskopisch-photographischer Darstellungen aus dem Gebiete der Zoologie von E. Heeger, worin Abbildungen von Insekten und Insektenteilen in geringerer Vergrößerung gegeben werden; in demselben Jahre: ‚The wonders of the microscope, photographically revealed, Olley's patent micro-photo-

graphic reflecting process' (London, W. Kent & Co., Paternoster row), ein stattlicher Band zum Teil wohl gelungener Aufnahmen von Diatomeen und histologischen Präparaten.

Auf den Tafeln im Lehrbuche der Mikrophotographie von Gerlach (1863) verdient die Auflösung der Flügelschuppe von Hipparchia Janira (Fig. 2 auf Tafel I) Anerkennung, wenn man berücksichtigt, mit wie mangelhaften Hilfsmitteln dieselben hergestellt wurden. Die in 265facher Vergrößerung gefertigte Originalaufnahme zeigt die Querstreifung zwischen den Längsrippen in ausreichender Deutlichkeit. Noch besser treten die kleinen Streifchen hervor auf dem folgenden, nach einem vergrößerten Diapositiv kopierten Bilde. Hier liegt ein Fall vor, wo die nachträgliche Vergrößerung des Negatives tatsächlich Vorteil bringt, weil ein unbewaffnetes Auge die feinen Einzelheiten der Originalaufnahme nur mit Mühe erkennt und auch die Albuminkopie die zarten Striche des Negatives nicht mit hinreichender Klarheit wiedergibt. Nun aber macht sich die Sucht, möglichst riesenhaft zu vergrößern, in nachteiligster Weise bemerkbar: Fig. 2 auf Tafel II zeigt dieselbe Flügelschuppe nach einem abermals (auf 1460) vergrößerten Negativ. Eine schlechtere Empfehlung konnte Gerlach seinem Verfahren nicht geben. Das Bild ist von unangenehmster Härte und wird überhaupt nur verständlich, wenn man die schwächeren Vergrößerungen zum Vergleich heranzieht. Nicht viel besser steht es mit dem auf Tafel III dargestellten, quergestreiften Muskel des Frosches, bei dem die Vergrößerung nachträglich auf 1000 gesteigert wurde. Die am Rande der Muskelfäden sichtbare Knotenbildung (richtiger ausgedrückt, die weißen Kleckse), auf die Gerlach besonderes Gewicht legt, und die er erst mit Hilfe der Vergrößerungsphotographie entdeckt haben will, sind Kunstprodukte. Helle und dunkle, in Wirklichkeit nicht vorhandene Streifen und Punkte erhält man häufig an den Teilen der Objekte, welche nicht genau in der Einstellebene liegen.

Auch irrt Gerlach, wenn er glaubt, durch vorliegendes Photogramm Verschiedenheiten in den molekularen Verhältnissen der Substanzen des Muskels nachweisen zu können. Die im Bilde stark ausgeprägten, bei der Okularbeobachtung weniger deutlich wahrnehmbaren Gegensätze zwischen Hell und Dunkel sind lediglich auf unzweckmäßige Behandlung der Platte und nicht auf besonders bemerkenswerte Unterschiede in der Absorption der durch das Präparat hindurchtretenden, chemisch wirksamen Strahlen zurückzuführen.

Die soeben besprochene Abbildung liefert ein lehrreiches Beispiel davon, wie vorsichtig man bei der Erklärung eines Mikrophotogramms

sein muß, und wie man durch fehlerhafte Behandlung Dinge in das Bild hineinbringt, die im Präparate nicht vorhanden sind. Hier läßt uns die vielbelobte Objektivität der Photographie gründlich im Stich.

Von den übrigen im Gerlachschen Werke veröffentlichten Probebildern (Mikrometermaßstab ${}^{265}/_{1}$; Membrana choriocapillaris des menschlichen Auges ${}^{43}/_{1}$; Durchschnitt des Augapfels eines halbjährigen Kindes ${}^{2}/_{1}$) kann man nur sagen, daß mancher Mikrophotograph, der mit den heutigen, vervollkommneten Hilfsmitteln arbeitet, froh wäre, wenn er diese Dinge ebensogut zustande brächte.

Die 1865 erschienene, mit 16 mikrophotographischen Tafeln ausgestattete Arbeit von Dr. Helwig: ‚Das Mikroskop in der Toxikologie' ist eine schwache Leistung.

Ein glänzendes Zeugnis von dem Geschick des Verfertigers legen die Abbildungen in der Mikrophotographie von Moitessier (1866) ab. Fig. 1 auf Tafel I zeigt im polarisierten Lichte aufgenommene Stärkekörnchen der Kartoffel, bei denen in bester Weise die eigenartige Verteilung von Hell und Dunkel zum Ausdruck kommt. Von den andern Bildern sei hervorgehoben: Harnsäurekristalle (${}^{15}/_{1}$), Blutkörperchen vom Frosch (${}^{350}/_{1}$), Kopflaus (${}^{120}/_{1}$), Pleurosigma angulatum (${}^{875}/_{1}$). Im Bilde dieser Diatomee erscheint nicht die bekannte sechseckige, sondern eine schachbrettartige Felderung. Leider wurde die Kopie durch nachträgliche Vergrößerung zu hart, so daß sich nicht mit Sicherheit entscheiden läßt, wie die Verhältnisse auf dem Originalnegativ liegen. Nach Schiff und Dippel erhält man bekanntlich Schachbrett-Felderung nur bei schiefer Beleuchtung und num. Apertur bis 1,10. Moitessier bediente sich zu dieser Aufnahme einer Wasserimmersion No. VII von Nachet.

Höchst bemerkenswert ist die von Moitessier mit halber Blendung bei auffallendem Licht in 18facher Vergrößerung gefertigte, stereoskopische Aufnahme von Helix costata (Tafel III). Die kleine Schnecke macht bei Betrachtung im Stereoskop einen vortrefflich körperlichen Eindruck.

1867 fertigte Boumans in Mastricht, derselbe, welcher die erste brauchbare Einrichtung zur Herstellung von Momentaufnahmen angab (s. S. 167), eine größere Anzahl vorzüglicher Aufnahmen von kleinsten Insekten, botanischen Präparaten, Trichinen usw.

Beneckes Bearbeitung des Moitessierschen Werkes (1868) enthält wohlgelungene Bilder verschiedener, histologischer Präparate, z. B. Flächenansicht von der Rückseite der Iris eines weißen Kaninchens (${}^{15}/_{1}$), Flächenschnitt der menschlichen Kopfhaut (${}^{25}/_{1}$), Tracheenzweige der Raupe (${}^{150}/_{1}$), quergestreiftes Muskelprimitivbündel aus

dem Gastrocnemius des Frosches ($^{200}/_1$) usw., ferner Photogramme von Pleurosigma balticum ($^{800}/_1$), attenuatum ($^{1000}/_1$) und angulatum ($^{2000}/_1$). Durch nachträgliche Vergrößerung des Originalnegativs ($^{500}/_1$) wurde Pleurosigma angulatum zu hart.

Das gleichfalls im Jahre 1868 erschienene Lehrbuch der mikroskopischen Photographie von Reichardt und Stürenburg bringt gute Aufnahmen eines Querschnittes durch Hippuris vulgaris ($^{12}/_1$) und von Tracheenzweigen der Seidenraupe ($^{42}/_1$), dann aber zwei überaus mangelhafte Photogramme von Pleurosigma angulatum. Die Originalaufnahme dieser Diatomee hat nur 175 fache Linearvergrößerung. Man steigerte dieselbe bei dem einen Bilde auf 3600, bei dem andern sogar auf 8750. Schwer begreiflich bleibt, daß die Verfasser so verwaschene Zeichnungen der Öffentlichkeit zu übergeben wagten. Offenbar gewann die Sucht, mit möglichst hohen Zahlen zu glänzen, die Oberhand über das klare Urteil.

‚Die Skulptur der Diatomeen' von Dr. G. Fritsch und Otto Müller (Berlin 1870) enthält auf 12 Tafeln vortreffliche Abbildungen von Arachnodiscus, Triceratium, Navicula, Stauroneis, Pleurosigma, Grammatophora und Surirella. Besonders gelungen ist die Perlenauflösung von Grammatophora marina und Surirella gemma.

In den folgenden Jahren vervollständigten Fritsch und Müller die Sammlung ihrer Diatomeenphotogramme durch Aufnahme einzelner Kieselschalen und ganzer Gesichtsfelder ($^{150}/_1$) von Diatomeenerden aus den verschiedensten Weltteilen.

Als Beigabe zu der Abhandlung: ‚Über das stereoskopische Sehen im Mikroskop und die Herstellung stereoskopischer Mikrotypien' (1873) veröffentlichte G. Fritsch verschiedene stereoskopische Mikrophotogramme (Kopf einer Mücke; Querdurchschnitt des Froschrückenmarks; Floh; Kieferfühler der männlichen Spinne), die er teils mit halber Blende, teils mit der stereoskopischen Wippe gefertigt hatte. Der körperliche Eindruck dieser Bilder ist beim Betrachten im Stereoskop überraschend, am wunderbarsten bei dem Rückenmarksquerschnitt, wo es den Anschein gewinnt, als könne man in das glasig durchsichtige Mark tief hineinblicken. Wundervoll plastisch erscheint hierbei das Netzwerk der injizierten Gefäße. Auch die von Katz (1894) veröffentlichten stereoskopischen Vergrößerungen des Gehörorgans rühren von Fritsch her. Eine dieser Aufnahmen kam in der ‚Internationalen medizinisch-photographischen Monatsschrift' (Bd. II, 1895, Heft 10) zum Abdruck.

Gewiß lassen sich manche Streitfragen der Histologie nur durch das stereoskopische Bild entscheiden. Um so bedauerlicher ist es, daß

dieser Zweig der Mikrophotographie in neuerer Zeit gänzlich vernachlässigt wurde.

Das größte Aufsehen erregten bei ihrem Erscheinen (1877) R. Kochs[1] Bakterienphotogramme. Während die bisher besprochenen Aufnahmen auf gesilbertem Albuminpapier kopiert waren, tritt uns hier der Lichtdruck[2] in seiner vollen Bedeutung vor Augen. Die Ausführung der Drucke ist mustergültig; besonders überrascht die Feinheit, mit welcher die zartesten Gebilde, vor allem die Geißeln wiedergegeben wurden. Nicht alle neueren Lichtdrucke können sich diesen Leistungen an die Seite stellen. Kochs Photogramme sind, was Klarheit und Schärfe anbelangt, trotz der verbesserten Hilfsmittel bis heute unübertroffen.

Einige Forscher glaubten an beweglichen Bakterien Geißelfäden wahrgenommen zu haben, andere stellten dies in Abrede; Koch machte dem Streit ein Ende, indem er die Geißeln photographierte. Durch Aufnahme verschiedener Spirillenarten gab er fernerhin dem Forscher ein vortreffliches Vergleichsmaterial an die Hand. Endlich photographierte er nicht nur die abgestorbenen, gefärbten Bakterien, sondern auch die ungefärbten auf ihrem natürlichen Nährboden.

Durch vorliegende Bilder wurde zuerst bewiesen, daß, entgegen der bis dahin gültigen Anschauung, gefärbte Mikroorganismen sich am besten aufnehmen lassen, wenn der einfallende Lichtkegel möglichst breit ist.

Vier Jahre später (1881) lieferte Koch im ersten Bande der ‚Mitteilungen aus dem Reichs-Gesundheitsamt‘ als hoch bedeutsamen Nachtrag zu seinen ersten Arbeiten 14 Tafeln mit 84 in jeder Beziehung mustergültigen Bakterienphotogrammen nach Schnitten, Blutpräparaten usw. Den Lichtdruck führten wiederum Römmler & Jonas aus.

Das Jahr 1878 brachte A. de Barys mikroskopische Photogramme nach botanischen Präparaten. Ein Jahr später fanden im 62. Bande der Kaiserlich-Leopoldinisch-Karolinischen deutschen Akademie der Naturforscher (Halle 1879) gelegentlich einer Arbeit von Kupffer und Benecke über die Entwicklungsgeschichte der Vögel 90 mikrophotographische Aufnahmen ihren Platz (Lichtdrucke von R. Prager).

C. Günther (Berlin) veröffentlichte 1880 seine großen Aufnahmen von Pleurosigma angulatum, von denen die eine in 2000facher, die

[1]) Cohn, Beiträge zur Biologie der Pflanzen Bd. II Tafel 14—16. Breslau 1877.

[2]) Hergestellt in der Lichtdruckanstalt von Römmler & Jonas zu Dresden.

andere in 5900facher direkter Vergrößerung hergestellt ist. GÜNTHER benutzte eine Wasserimmersion No. VII von GUNDLACH in Verbindung mit der achromatischen Konkavlinse (WOODWARD's Amplifier). Trotz der Konkavlinse war für die zweite Aufnahme ein Plattenabstand von 3 m erforderlich. Die Auflösung ist der Hauptsache nach diejenige in Perlen.

Im ‚Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie' (Bd. XII, 1880) bringt LETZERICH einige vom Pfarrer THELEN in Hagen aufgenommene Mikrophotogramme angeblicher Plasmazellen und Plasmakugeln. Nach KOCH sind diese Gebilde gewöhnliche heranwachsende Mikrokokkenkolonien, die sich in Hausenblasengallerte befinden, also längere Zeit in geschlossener Masse bleiben, als wenn sie in einer Flüssigkeit lebten.

Man sollte meinen, daß die Photogramme von KOCH den Mikrophotographen als Maßstab für ihre eigenen Leistungen dienen und ausschlaggebend bei Beantwortung der Frage sein mußten, ob Bilder reif zur Veröffentlichung sind, oder nicht. Daß dies sich nicht so verhält, beweisen die 1881 erschienenen ZÜRNschen Photogramme angeblicher Milzbrandbazillen[1], welche auch nicht den allerbescheidensten Anforderungen genügen. Dieselben leiden an fast allen Fehlern, welche bei Mikrophotogrammen vorkommen können; sie entbehren jeder Schärfe, sind größtenteils nicht einmal richtig eingestellt, haben ausgeprägte Interferenzlinien und wurden überdies retuschiert.

Das 1881 herausgegebene Werk: ‚Recherches sur l'appareil tégumentaire des racines' ist mit 50 recht guten mikrophotographischen Tafeln, die von LOUIS OLIVIER (Paris) herrühren, illustriert.

1882 erschien STEINS Werk über die menschlichen Parasiten (Lahr, Schauenburg), mit 115 teils von STEIN teils von GRIMM hergestellten Mikrophotogrammen.

Der Hofphotograph J. GRIMM in Offenburg lieferte die mikrophotographischen Aufnahmen für mehrere wissenschaftliche Arbeiten, unter denen wir folgende namhaft machen:

1. Prof. TSCHERMAK (Wien), Die mikroskopische Beschaffenheit der Meteoriten. Mit 8 photographischen Tafeln. 1883—1885.
2. Dr. WOLFF (Straßburg), Die pflanzlichen Parasiten der Haut.
3. Prof. KOLLMANN (Basel), Atlas der Zahnentwicklung.
4. Prof. E. COHEN (Straßburg), Sammlung von Mikrophotographien zur Veranschaulichung der mikroskopischen Struktur der Mineralien

[1]) Separatabdruck aus dem ersten Bericht des landwirtschaftlichen Instituts der Universität Leipzig (1881).

und Gesteine. 80 Tafeln mit 320 Mikrophotogrammen (1884). — Die Abbildnngen zeigen die wichtigsten Erscheinnngen, welche Mineralien und Gesteine unter dem Mikroskop darbieten, z. B. charakteristische Kristalldurchschnitte, Mikrolithe, Einschlüsse, Schlagfiguren, Zwillingsbildnngen, Ätzfiguren, mikrochemische Reaktionen, Kieselfluorverbindungen nsw.

5. Prof. Waldeyer (Straßburg), Atlas der menschlichen nnd tierischen Haare. Lichtdrucke von Moritz Schauenburg, Lahr, 1884. Die Aufnahmen sind durchweg tadellos, wobei allerdings nicht anßer acht zn lassen ist, daß es sich ausschließlich um schwache Objektivvergrößerung handelt.

6. Prof. Birnbaum (Karlsruhe), Atlas von Photographien mikroskopischer Präparate der reinen und gefälschten Nahrungsmittel, 1886.

Seinem Werke ‚Das Mikroskop und die mikrographische Technik‘ (1884) gibt Stein vier Lichtdrucktafeln mit Mikrophotogrammen bei, unter denen besonders zwei ans dem Jahre 1860 stammende, vom Apotheker Mayer in Frankfurt a. M. hergestellte Anfnahmen von Pleurosigma angulatum ($^{700}/_{1}$) und Plenrosigma attennatnm ($^{650}/_{1}$) unsere Aufmerksamkeit fesseln. Die Bilder beweisen, daß Mayer trotz seiner mangelhaften Hilfsmittel ein vollendeter Künstler auf dem Gebiete der Mikrophotographie war. Auf den übrigen Tafeln veröffentlicht Stein außer eigenen Aufnahmen anch solche von Woodward in Washington (Pleurosigma angulatum $^{2000}/_{1}$, Pleurosigma formosum $^{3000}/_{1}$) und Jul. Grimm in Offenburg. Unter letzteren setzt der ‚Answurf mit Tuberkelbazillen‘ (Fig. 5 auf Tafel V) jeden Kenner in Staunen. Man sieht nämlich sofort, daß die hier dargestellten angeblichen Bazillen das Produkt einer mit Bleistift und Pinsel ausgeführten Retusche sind. Hätte Grimm die geringsten bakteriologischen Kenntnisse, so würde er die in Wirklichkeit zarten Stäbchen gewiß etwas feiner nnd nicht so grob wie Dreschflegel gezeichnet haben. Stein bemerkt im erklärenden Texte: „Besonders sind die kokkenhaltigen Bazillen im Zentrum des Sehfeldes bemerkenswert!“ Ein anderes, ebenfalls von Grimm geliefertes Mikrophotogramm ‚Mit Milzbrandbakterien durchsetztes Blnt‘ (Fig. 4 auf Tafel V) ist unscharf und zeigt starke Diffraktionssäume. Grimm ist demnach starken Objektivvergrößerungen nicht gewachsen.

Zu den völlig verfehlten Arbeiten zählt der Atlas der Pflanzenkrankheiten von Dr. Zimmermann, mit photographischen Anfnahmen von Wiegand in Zeitz (Halle 1885). Der Herausgeber beabsichtigte ein Werk zu bringen, in welchem die erkrankten Pflanzen makroskopisch nnd neben denselben Mikrophotogramme der Krankheitserreger dargestellt sind. Gewiß ein äußerst fruchtbarer Gedanke! Weshalb

überträgt man aber die Ausführnng einem Photographen, der bisher nur durch seine Photogramme nach Zeichnungen sich bemerkbar gemacht hat? Wiegand verfuhr bei Herstellung der Mehrzahl vorliegender Mikrophotogramme offenbar folgendermaßen: Er fertigte ein mikrophotographisches Negativ, verbesserte in der Kopie die Unvollkommenheiten mit Feder nnd Pinsel und machte nach diesem Kunstprodukt ein zweites, für den Lichtdrnck bestimmtes Negativ. Da der Verfertiger ein nicht ungeschickter Zeichner ist, so gehört ein sachkundiges Ange dazu, nm dies zu erkennen. Bei einzelnen Abbildnngen, welche ein Präparat zuerst in schwacher, dann in stärkerer Vergrößerung darstellen, zeigen sich wesentliche Abweichnngen, obgleich die verschiedenen Anfnahmen von derselben Stelle des Präparates gefertigt wurden.

In dieselbe Zeit fällt der ‚Mikroskopische Atlas zum Gebrauche für Gesundheitsbeamte, Apotheker, Drogisten, Kauflente und gebildete Laien‘ von Dr. F. Elsner (Halle a. S., Knapp).

In Virchows Archiv (Band CVI, 1886) veröffentlichte O. Israel einige Versnche mit ungefärbten, in flüssigen Medien eingebetteten Objekten. Derselbe Antor legte auf dem internationalen medizinischen Kongreß zu Berlin (1890) seine Anfnahmen von Gehirnschnitten vor, die ans einer Anzahl einzelner mikrophotographischer Aufnahmen ein Mosaikbild des großen Objektes geben. Dies aus mehreren Aufnahmen zusammengesetzte Mosaikbild war dann von neuem photographiert. Israel schlng dies Verfahren ein, um über das nngewöhnlich große Präparat einen besseren Gesamtüberblick geben zn können, als dies bei einzelnen Teilbildern möglich gewesen wäre. Die Originalaufnahme anf einer einzigen Platte zn fertigen, wäre wegen der Größe der Platte sehr nmständlich gewesen. Auch hätte es schwer gehalten, bei der Größe des Präparates ein völlig ebenes Bildfeld zu erzielen. Mit den Planaren von Zeiss würde man jetzt auch so große Präparate auf einer einzigen Platte aufnehmen können.

Die ersten gut gelungenen mikrophotographischen Lösnngen der Querstreifen von Amphipleura pellucida rühren von dem Amerikaner Woodward her. van Heurck versnchte, die Längs- und Querstreifung dieser Diatomee zur Lösung zn bringen (1886). Bei verschiedenen Bildern dieses Autors, die dem Verfasser zu Gesicht kamen, hat er die Umgebung der Kieselschale bis an den Rand der letzteren abgedeckt. Infolgedessen ist es unmöglich zn entscheiden, wie viel von der im Bilde vorhandenen Längsstreifnng auf Rechnung der Diffraktionslinien zu setzen ist. van Heurck fertigte ganz kleine Originalaufnahmen und vergrößerte dieselben nachträglich. Die

Endresultate können uns nicht davon überzeugen, daß dies Verfahren gegenüber dem gewöhnlichen irgendwelche Vorteile bietet. Zweifellos würden die Bilder einen bessern Eindruck machen, wäre das Originalnegativ sogleich in der endgültig gewünschten Vergrößerung hergestellt.

1886 erschien das mit zahlreichen Mikrophotogrammen ausgestattete Werk von Troup über den Auswurf[1].

26 Mikrophotogramme der asiatischen Cholera bringt die Arbeit von E. van Ermengem: ‚Recherches sur le microbe du Choléra asiatique‘.

Vortreffliche, durch Koch und Plagge gefertigte Aufnahmen von Cholerabakterien enthält ferner das Buch von Riedel ‚Die Cholera‘ (Berlin 1887, Enslin).

Zu den erbärmlichsten Machwerken auf dem Gebiete der Mikrophotographie gehören Stengleins ‚Mikrophotogramme zum Studium der angewandten Naturwissenschaften‘ (Berlin 1886, Parcy). Stenglein gehört zu den wenigen Mikrophotographen, welche es fertig brachten, selbst bei schwacher Objektivvergrößerung ganz Ungenügendes zu leisten. Die Blätter enthalten eine Musterkarte aller möglichen Fehler, welche der Mikrophotograph begehen kann: Unscharfe Umrisse, Diffraktionslinien, Flecke usw. Trotz des umfangreichen Registers der in Aussicht genommenen Aufnahmen gedieh das Werk nicht über die erste Lieferung hinaus. Die Stengleinschen Bilder konnten nur dazu beitragen, Autoren und Verleger von einer Änderung der früheren Illustrationsverfahren abzuhalten. Die Sache gewinnt besondere Bedeutung dadurch, daß sich Stenglein für berechtigt hielt, die Welt mit einem ‚Lehrbuch‘ der Mikrophotographie zu beschenken (1887). Die letzterem beigegebenen Probelichtdrucke (Cholera nostras und Tuberkelbazillen $^{700}/_{1}$), ließ Stenglein nach Negativen fertigen, welche Verfasser dieser Zeilen mehrere Jahre früher aufgenommen und aus der großen Zahl seiner Negative als unbrauchbar ausgemerzt hatte. Die Angaben über Herstellungsart, welche Stenglein unter die Lichtdrucke setzt, sind völlig unzutreffend.

Der mehrfach angeführte Spezialkatalog von Zeiss (1888) enthält wohlgelungene Photogramme von Insekten, histologischen Präparaten und Diatomeen (Pleurosigma angulatum und Amphipleura pellucida). Interessant ist besonders die bei verschiedenartiger Beleuchtung sehr verschiedene Zeichnung von Pleurosigma.

---

[1]) Troup, Sputum its microscopy and diagnostic and prognostic significations, illustrated with numerous photo-micrographic plates and chromolithographs. Edinburgh 1886.

Unter den Photogrammen, welche JESERICH seiner ‚Mikrophotographie‘ (1888) beigibt, befinden sich einige botanische, mit schwachen Objektiven gefertigte Bilder. Die Bakterienphotogramme (Milzbrand und Spaltpilze aus dem Wein) sind unscharf.

In der österreichischen Monatsschrift für Tierheilkunde (Wien 1888, No. 6) unternimmt Prof. KITT einen Versuch mit der Wiedergabe seiner vortrefflichen mikrophotographischen Bakterienaufnahmen (Milzbrand, Geflügelcholera und Rinderseuche) durch ein billiges, damals noch mangelhaft ausgebildetes Reproduktionsverfahren, die Autotypie. Wenn auch die Schönheit der Bilder durch die, diesem Verfahren anhaftenden Mängel wesentlich leidet, so wird der dargestellte Gegenstand durch die Zinkätzung doch naturwahrer wiedergegeben, als durch Zeichnung. In der ‚Enzyklopädie der gesamten Tierheilkunde‘ S. 463 (Wien 1889) veröffentlicht KITT noch andere, nach derselben Methode ausgeführte Aufnahmen: Inhalt eines MIESCHERschen Schlauches, Tuberkel vom Rind, Tuberkel mit zentraler Verkäsung und Ödembazillen. Eine größere Anzahl weiterer Photogramme findet sich in dem Buche von KITT: ‚Bakteriologische und pathologisch-histologische Übungen‘ (Wien, Perles).

Dr. GÜNTHER brachte eine größere Reihe von Bakterienaufnahmen, besonders nach Schnittpräparaten, durch das Institut für Mikroskopie von KÖNIG in den Handel. Auch sein Werk ‚Einführung in das Studium der Bakteriologie‘ (Leipzig, Thieme) ist mit einer großen Reihe vorzüglichster Aufnahmen ausgestattet.

In seinem glänzend ausgestatteten Spezialwerk: ‚Photography of bacteria‘ (London 1888) veröffentlicht CROOKSHANK 86 Photogramme der verschiedensten Bakterienarten, die teils nach Deckglas-, teils nach Schnittpräparaten aufgenommen sind. Viele der Bilder wurden je nach Färbung des Präparates mit blauer, violetter, brauner oder roter Farbe gedruckt. Hoffentlich findet diese Spielerei wenigstens in Deutschland keine Nachahmung. Das Buntfärben der Bakterien ist ein Notbehelf, da Schwarzfärbung nicht in allen Fällen gelingt. Bei Lichtdrucken die natürlichen Vorteile der schwarzen Farbe aufzugeben, ist um so weniger empfehlenswert, als hier der Umstand störend wirkt, daß nicht nur die Bazillen, sondern auch der Untergrund Farbe annehmen, und daher keineswegs der Eindruck eines gut gefärbten Bazillenpräparates entsteht. Sieht man von dem äußeren Blendwerk ab und betrachtet die Einzelheiten genauer, so ergibt sich, daß CROOKSHANKS Photogramme hinter denen, welche KOCH mehr als 10 Jahre früher veröffentlichte, weit zurückstehen. Anstatt die Objekte in 700- bis 1000facher Vergrößerung zu geben, welche zum

klaren Erkennen der Einzelheiten in allen Fällen ausreicht, zieht Crookshank seine Bakterien bis auf 2500 und 3000 in die Länge. Gleich auf der ersten Tafel wird ohne die beigedruckte Bescheinigung niemand die unförmigen roten Kleckse für Mikrokokken halten. Leidlich scharf sind nur die allerleichtesten Objekte, wie Anthrax, Bacillus alvei, Spirillum tenue usw. Bei schwierigen Sachen, wie z. B. bei sporenhaltigen Tuberkelbazillen, versagen dem Autor die Kräfte gänzlich. Die verderbliche Wirkung des Kolorierens und der Übervergrößerung wird in klarster Weise dadurch veranschaulicht, daß Crookshank die auf den ersten 18 Tafeln enthaltenen Objekte auf den letzten 4 Tafeln noch einmal mit Schwarzdruck in 400- bis 600facher Vergrößerung wiedergibt. Hier erscheint mancher Mikroorganismus verhältnismäßig deutlich, welcher in der stärkeren Vergrößerung kaum erkennbar ist.

Das Werk von A. Truan und O. N. Witt: Die Diatomeen der Polycystinenkreide von Jérémie [Haiti] (Berlin 1888) enthält auf 7 Tafeln 144 wohlgelungene Abbildungen. Die ursprünglichen, in 550facher Vergrößerung gefertigten Aufnahmen wurden durch den Lichtdruck auf zwei Drittel der Originalgröße verkleinert. In demselben Jahre erschien der ‚Atlas der Holzstruktur, dargestellt in Mikrophotographien' von N. J. C. Müller (Halle 1888).

Max Hauer, Apotheker in Oberhausen bei Augsburg, veröffentlichte einen pflanzenanatomischen Atlas zum Unterricht in der Pharmakognosie. Die Bilder sind in sehr großem Format hergestellt, doch handelt es sich hier nicht um starke Objektivvergrößerung, denn die Aufnahmen geschahen mit verhältnismäßig schwachen Objektiven, und die Größe wurde erzielt durch eine lange Kamera oder durch nachträgliche Vergrößerung der Negative. Sollen derartige Bilder den Wettbewerb mit guten, für den Unterricht völlig ausreichenden Zeichnungen aushalten, so müßte vor allen Dingen ihre Schärfe und Deutlichkeit größer sein. Auf den Photogrammen machen sich Diffraktionslinien, welche alle möglichen, in Natur nicht vorhandenen Zeichnungen vortäuschen, in unangenehmster Weise bemerkbar. Neuere Veröffentlichungen desselben Autors zeigen außerordentliche Fortschritte gegenüber dem soeben besprochenen ‚Atlas'.

Burstert und Förstenberg fertigten zahlreiche wohlgelungene Aufnahmen nach zoologischen und botanischen Objekten. Sie sollen hauptsächlich dem Unterrichte dienen.

Ein Werk von hervorragender Bedeutung ist der ‚mikrophotographische Atlas der Bakterienkunde' von Fraenkel und Pfeiffer (Berlin 1889—90, Hirschwald). Die unter Kochs Leitung arbeitenden

Verfasser geben in demselben einen Überblick über die wichtigsten bis jetzt bekannten Formen der Bakterien. Man beschränkte sich nicht darauf, gefärbte und ungefärbte Deckglaspräparate und Schnitte in verschiedenen Vergrößerungen zu photographieren; es werden auch Reagenzglas- und Plattenkulturen in natürlicher Größe und schwachen Vergrößerungen vorgeführt. Die Schärfe der mit den besten Zeissschen Apochromaten, mit dem großen Zeissschen Apparat und mit Sonnenlicht oder Zirkonlicht hergestellten Bilder ist musterhaft. Ein solches Werk gelingt nur dort, wo viele ungewöhnlich günstige Bedingungen zusammentreffen: Die vollkommensten technischen Hilfsmittel, ausreichende Muße für die zeitraubenden Arbeiten, der kritische Blick des Altmeisters der Mikrophotographie und Bakterienknnde, und vor allen Dingen eine Präparatsammlung, wie sie einzig in der Welt dasteht. Die Ausführung der Glanzlichtdrucke geschah durch die Anstalt von J. B. Obernetter in München, deren Leistungen als die vorzüglichsten — freilich auch als die teuersten — auf diesem Gebiete bekannt sind.

Über die Amphipleura pellucida ($^{1000}/_{1}$), mit welcher die Reihe der Photogramme anhebt, dürften die Meinungen sich teilen. Die Auflösung in Perlen ist scheinbar vollkommen; doch prägen sich die auch außerhalb der Diatomee auftretenden Diffraktionslinien in so starker Weise aus, daß die Entscheidung darüber, was innerhalb der Kieselschale diesen Linien und was der in Wirklichkeit vorhandenen Längsstreifung angehört, zur Unmöglichkeit wird. Unter den Bakterienphotogrammen sei besonders auf diejenigen hingewiesen, welche nach gefärbten und ungefärbten Präparaten die feinen Geißeln zur Darstellung bringen. Eine Ergänzung zu dem soeben besprochenen ‚Atlas‘ bilden die von Pfeiffer herausgegebenen Beiträge zur Protozoënforschung.

Besonders bemerkenswert sind die Bakterienphotogramme von Prof. Loeffler. Bekanntlich gelang es Loeffler, die bis dahin mangelhaften Methoden der Geißelfärbung so zu verbessern, daß man ohne besondere Mühe diese feinsten Gebilde zur Anschauung bringen kann. Seinen Veröffentlichungen hierüber[1] fügt Loeffler 4 Tafeln mit 16 Mikrophotogrammen bei, auf welchen die Geißeln der verschiedensten Bazillen und Spirillen in klarster Weise dargestellt sind. Hervorzuheben sind auch die Monaden mit gefiederten Geißeln, ferner die Haarzöpfe an den Rauschbrandbazillen.

---

[1]) Zentralblatt für Bakteriologie und Parasitenkunde Bd. VI, 1889, No. 8 und 9; Bd. VII, 1890, No. 20.

Der gleichzeitig mit der ersten Auflage dieses Lehrbuches erschienenen ‚Mikrophotographie‘ von Marktanner (Halle 1890, Knapp) sind 9 gute Mikrophotogramme beigefügt.

Vom Verfasser rühren u. a. folgende mikrophotographische Aufnahmen her: Eine Sammlung von Diatomeen, histologischen und bakteriologischen Aufnahmen, zum Teil erschienen bei Klönne & Müller in Berlin, zum Teil bei A. Krüss in Hamburg (Diapositive und Abzüge auf Chlorsilberpapier); ferner: 22 Aufnahmen nach Präparaten des inneren Ohres (in dem Ohrenatlas von Dr. L. Katz. Berlin, Hirschwald); 15 Aufnahmen von Schneekristallen[1] (in dem Werke von Prof. Hellmann über Schneekristalle. Berlin 1893, Mückenberger); 13 Aufnahmen von Mikroorganismen der Mundhöhle (in dem Werke von Prof. Miller über Mikroorganismen der Mundhöhle. Leipzig 1892, Thieme); 18 Aufnahmen von Mikroorganismen der Mundhöhle (im: Dental Cosmos for September, October and November 1891); 35 Aufnahmen von Actinomyces (in dem Aufsatze von Prof. Wolff und Dr. J. Israel über Reinkultur des Actinomyces. Virchows Archiv Bd. 76, 1891. Die Lichtdruckreproduktion ist in vorliegendem Falle außerordentlich mangelhaft); 8 Aufnahmen von Kehlkopfpräparaten (in dem Aufsatze von Prof. B. Fraenkel über die feinere Anatomie des Kehlkopfes. Archiv für Laryngologie Bd. I, Heft 2). Außerdem finden sich Aufnahmen des Verfassers zerstreut in verschiedenen Abhandlungen des In- und Auslandes.

In den Sitzungsberichten der k. Akademie der Wissenschaften zu Wien erschienen 18 zum Teil mit polarisiertem Lichte aufgenommene Mikrophotogramme, die 1889 von Eder und v. Reisinger in Wien gefertigt wurden.

Das Ausgezeichnetste auf dem Gebiete der Aufnahmen mit auffallendem Licht sind die Mikrophotogramme, welche Prof. A. Martens an der technischen Hochschule zu Berlin-Charlottenburg herstellte. Den ‚Mitteilungen aus den k. technischen Versuchsanstalten‘ (1891, S. 278) sind 33 von Martens gefertigte Mikrophotogramme (Lichtdrucke) beigegeben, welche für derartige Arbeiten als Muster dienen können. Weitere mit auffallendem Licht von Martens gefertigte Aufnahmen (Eisenschliffe) enthalten die Zeitschrift ‚Stahl und Eisen‘ 1892, No. 9 (Lichtdruck), 1894 No. 17 (Lichtdruck) und die ‚Transactions of the american institute of mining engineers‘ 1893, 1. August (Autotypie).

[1]) Über Aufnahmen von Schneekristallen, die von anderen gefertigt wurden, s. S. 200.

24 gelungene Mikrophotogramme in Lichtdruck illustrieren eine Arbeit von Professor Raymann und K. Krüss in den ‚Mitteilungen der Versuchsstation für Spiritusindustrie in Prag‘ (1891).

Um Amphipleura pellucida möglichst vollkommen zu lösen, verwendeten mehrere Forscher das Monobromnaphthalin-Immersionssystem von Zeiss (s. S. 46). Gute Resultate erhielt hiermit van Heurck; dieselben sind veröffentlicht in: H. van Heurck, La nouvelle combinaison optique de Zeiss. Antwerpen 1890. Noch Vortrefflicheres leistete auf diesem Gebiete Professor E. Zettnow (veröffentlicht in Eders Jahrbuch für 1893). Die Auflösung in Punkte ist tadellos, ohne daß sich nennenswerte Diffraktionssäume zeigen.

Zu den ausgezeichnetsten Leistungen auf mikrophotographischem Gebiete gehört das Werk von Möller: ‚Lichtdrucktafeln hervorragend schöner und vollständiger Möllerscher Diatomaceenpräparate‘ (59 Tafeln in Leinwandmappe. Wedel 1891, Selbstverlag). Der durch seine prachtvollen Diatomeentypenplatten bekannte Autor gibt in genanntem Tafelwerk in erster Linie jene berühmte von ihm gefertigte Typenplatte wieder, welche nicht weniger als 4026 Spezies, Varietäten und Formen enthält, die in streng systematischer Folge angeordnet sind. Ein so einzig in seiner Art dastehendes Präparat, welches im kleinsten Raume (6×6,7 mm) die gesamte Diatomeenkunde umfaßt, kann schließlich nur Eigentum eines einzelnen werden, vielleicht eines solchen, den mehr die Sucht nach Seltenheiten als Lernbegierde zum Erwerbe des Prachtstückes bewog. Wir sind daher Möller zu Dank verpflichtet, daß er durch seine vortrefflich ausgeführten Mikrophotogramme dafür Sorge trug, ein solches Lehrmaterial weiteren Kreisen zugänglich zu machen. Tafel 1 zeigt genannte Typenplatte in 38facher Linearvergrößerung. In Tafel 2 bis 10 werden die neun Abschnitte jener Platte in stärkerer Vergrößerung vorgeführt. Als Tafeln 11 bis 28 folgen in 125facher Linearvergrößerung Aufnahmen von Typenplatten, welche die an verschiedenen Punkten der Erde nebeneinander vorkommenden Diatomeenformen in übersichtlicher Reihenanordnung zeigen. Die Tafeln 29 bis 58 enthalten 30 Aufnahmen von Typenplatten, auf denen die einzelnen Schalen, nach Fundorten geordnet, ohne Reihenanordnung liegen. Die letzte Tafel gibt 4 Präparate wieder, wo die Diatomeen in kunstvollen Rosetten zusammengestellt sind. Besonders zu loben ist auch die Ausführung der Lichtdrucke von Strumper & Co. in Hamburg.

58 von E. Valenta in Wien hergestellte Mikrophotogramme veranschaulichen die in verchiedenen gewerblichen Betrieben vor-

kommenden Staubarten (Verlag des Vereins zur Pflege des gewerblich-hygienischen Museum in Wien 1892).

Seinem Werke: ‚Der mikrophotographische Apparat der Leipziger Anatomie' (1892) gibt His zwei große Heliogravüretafeln bei, von denen die eine den Frontalschnitt durch Kopf und Hals eines menschlichen Fötus aus dem vierten Monat (Vergrößerung 9), die andere einen Durchschnitt durch das Rückenmark und seine Umgebung von einem vierwöchentlichen menschlichen Embryo (Vergrößerung 210) darstellt. Diese Bilder veranschaulichen den Charakter negativer, direkt auf Bromsilberpapier hergestellter Schnittbilder (vergl. S. 153).

Die Arbeit von Dr. Karg ‚Über das Karzinom' (Deutsche Zeitschrift für Chirurgie 1892) enthält auf 10 Tafeln 23 vortreffliche, von Karg hergestellte Mikrophotogramme, die sich auf Krebsgeschwülste beziehen. Sehr zu loben ist auch die Ausführung der Lichtdrucke von Klinkhardt in Leipzig.

Ein Prachtwerk ersten Ranges ist der ‚Atlas der pathologischen Gewebelehre in mikrophotographischer Darstellung von Dr. Karg und Dr. Schmorl' (Leipzig 1893, F. C. W. Vogel). Auf 27 Tafeln in Großformat, die in vorzüglichster Heliogravüre ausgeführt sind, enthält das Werk eine Unsumme der anschaulichsten und technisch vollendetsten Aufnahmen. Wer noch Zweifel darüber hegte, ob die Mikrophotographie wirklich imstande sei, auf anatomischem Gebiete die Zeichnung zu ersetzen, wird durch genannte Veröffentlichung zu einem überzeugten Anhänger der Mikrophotographie werden.

In einem 1894 erschienenen Werke ‚Mikrophotographischer Atlas der normalen Histologie menschlicher Zähne' (Hagen i. W., Hermann Risel & Co.) gibt Otto Walkhoff auf 18 Lichtdrucktafeln in 114 mikrophotographischen Darstellungen die Histologie der Zähne. Das Werk zeugt von außerordentlichem Fleiß, sowohl in bezug auf Beschaffung der Präparate als auch in bezug auf Ausführung der Mikrophotogramme. Die Aufnahmen wurden mit elektrischem Bogenlichte gefertigt.

16 von Dr. S. Engel herrührende Aufnahmen (Internationale medizinisch-photographische Monatsschrift Bd. I, 1894, Heft 10) zeigen die Entwicklung des Blutes.

Professor Spalteholz machte in seinem Werke ‚Die Arterien der menschlichen Haut' (Leipzig 1895, Veit & Co.) einen gelungenen Versuch, die stereoskopische Mikrophotographie zu beleben. Die auf 13 Heliogravüretafeln dargestellten Hautpräparate machen, im Stereoskop betrachtet, einen vorzüglichen körperlichen Eindruck. Auf keine andere Weise läßt sich auch nur annähernd ein so anschauliches Bild

von dem Verlaufe der Adern geben. Zu den Aufnahmen, die in ganz schwacher Vergrößerung (1,2 bis 6) hergestellt sind, bediente sich SPALTEHOLZ einer senkrecht aufgestellten Kamera mit Landschaftslinse. Die Präparate wurden auf stereoskopischer Wippe von ungewöhnlicher Größe befestigt.

Eine bemerkenswerte Leistung ist der ‚Mikrophotographische Atlas der Bakterienkunde' von Dr. ITZEROTT und Dr. NIEMANN (Leipzig 1895, Joh. Ambr. Barth). Derselbe enthält 126 Aufnahmen teils nach Schnitten, teils nach Deckglas-Trockenpräparaten.

Acht von ZETTNOW gefertigte Mikrophotogramme (Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten Bd. XXI, 1895) zeigen die Entwicklungsformen des Bazillus der Bubonenpest. Derselbe Parasit wurde von Prof. R. PFEIFFER am Institut für Infektionskrankheiten zu Berlin in einer Reihe ausgezeichneter Mikrophotogramme zur Darstellung gebracht. (Bericht der deutschen Pestkommission 1898.)

Das letzte Jahrzehnt brachte eine so außerordentlich große Zahl zum Teil hervorragend schöner Mikrophotogramme, daß es ganz unmöglich ist, die einzelnen Arbeiten namhaft zu machen. Nur auf ein epochemachendes Spezialwerk sei hingewiesen, zu dessen Vollendung es außerordentlicher Opfer an Zeit, Geld und Geduld bedurfte: HANS HAUSWALDT, Interferenzerscheinungen an doppelt brechenden Kristallplatten im konvergenten, polarisierten Licht (Magdeburg 1902). Das Werk bringt auf 33 Tafeln 132 im polarisierten Lichte gefertigte, kristallographische Aufnahmen. Dem Verfertiger wurde für diese Arbeit von der Universität Halle der Ehrendoktor verliehen. Zwei Jahre später veröffentlichte HAUSWALDT ein noch umfangreicheres, ebenso mustergültig durchgeführtes Werk: ‚Interferenzerscheinungen im polarisierten Licht', welches auf 80 Tafeln mehrere hundert, unter den schwierigsten Verhältnissen gefertigter Aufnahmen enthält.

Zum Schlusse müssen wir noch der Aufnahmen mit ultraviolettem Lichte gedenken, welche Dr. AUGUST KÖHLER seiner grundlegenden Abhandlung[1]: ‚Mikrophotographische Untersuchungen mit ultraviolettem Licht' beifügte. Die 17 Aufnahmen veranschaulichen in trefflicher Weise die Leistungsfähigkeit dieser Methode. KÖHLER stellte in der Folgezeit noch zahlreiche andere Aufnahmen her, welche insbesondere auch die Überlegenheit des ultravioletten Lichtes bei Auflösung der am schwierigsten zu lösenden Diatomeen vor Augen führen.

[1]) Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Bd. XXI, 1904, S. 129 bis 165 und S. 273—304.

Trotz der damit verbundenen Umständlichkeiten wurde nach dieser nenen Methode schon von anderen Mikrophotographen emsig gearbeitet. Es sei nur auf die schönen Erfolge von Dr. DIECK[1] bei Untersuchnng der Hartgewebe von Zahn und Knochen hingewiesen.

Vorstehendes Verzeichnis wird dem Anfäuger zeigen, wo er seine eigenen Aufnahmen mit denjenigen anderer vergleichen kann. Ein solcher Vergleich erweist sich nnter allen Umständen als notwendig. Manches Photogramm wäre unveröffentlicht geblieben, hätte sein Verfertiger sich beizeiten unter dem vorhandenen Material umgesehen. Selbstüberschätzung, der schlimmste Feind des Mikrophotographen, läßt sich nur durch vorurteilsfreie Vergleichung der eigenen Leistungen mit denjenigen anderer bekämpfen.

[1]) Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde 1906, Januarheft.

Erklärung der Tafeln

Auf den drei Tafeln sind die hauptsächlichsten, mechanischen Vervielfältigungsverfahren veranschaulicht: Autotypie, Lichtdruck und Heliogravüre. Näheres über die Ausführung der Drucke auf Seite 234 bis 238. Die Aufnahme auf Tafel II ist von Dr. AUGUST KÖHLER in Jena gefertigt. Alle übrigen Aufnahmen rühren vom Verfasser her.

Tafel I

Autotypie von SCHELTER & GIESECKE in Leipzig.

No. 1. Dünne ZENKERsche Blättchen. Vergr. 1080 linear. Querschnitt durch eine nach LIPPMANNS Verfahren hergestellte, photographische Bildschicht (Spektralaufnahme; gelbe Spektralzone). Durch die einbettende Flüssigkeit ist das Präparat (Gelatine) im Verhältnis von 1:2,4 aufgequollen. Kolorplatte von WESTENDORP & WEHNER. ZETTNOWsches Filter. Elektrisches Bogenlicht. Apochromat-Ölimmersion. Projektionsokular No. 2 von ZEISS. Belichtungszeit 1 Minute.

No. 2. Schneekristall. Vergr. 25 linear. Aufgenommen im Freien bei — 10° C. Silbereosinplatte von O. PERUTZ. Petroleumlicht ohne Lichtfilter. Projektionsobjektiv 31 mm Brw., ohne Okular. Belichtungszeit 5 Sekunden.

Tafel II

Lichtdruck von SINSEL & Co. in Leipzig-Ötzsch.

Amphipleura pellucida. Vergr. 1800 linear. Trockenpräparat. Aufgenommen bei schiefem Licht mit Monochromat 1,7 mm und Okular 10. Beleuchtung mit Cadmiumlicht ($\lambda = 275$). Vergl. den Abschnitt über Aufnahmen mit ultraviolettem Licht (S. 161).

Tafel III

Heliogravüre von MEISENBACH RIFFARTH & Co. in Berlin.

No. 1. CORTIsches Gehörorgan. Lamina reticularis. Die Nervenelemente des Gehörorganes stehen wie Orgelpfeifen nebeneinander. Vergr. 200 linear. Präparat (ungefärbt) von Dr. L. KATZ.

Objektiv: Trockensystem No. 7 von Hartnack (altes System aus dem Jahre 1876), und Okular No. 2 von Hartnack, verlängert nach der vom Verfasser angegebenen Methode (s. S. 59). Petroleumlicht ohne Lichtfilter. Erythrosin-Badeplatte. Belichtungszeit 2 Minuten.

Die Aufnahme ist ein Beispiel dafür, daß man auch Dinge, die im Präparate sehr verschiedenen Ebenen angehören, im Bilde scharf erhalten kann. Um dies zu erreichen, wurde der Beleuchtungskegel, soweit dies irgend zulässig, eingeengt. Mit noch schmalerem Beleuchtungskegel zu arbeiten und daher die tiefer gelegene Ebene noch schärfer abzubilden, war unzulässig, da bereits die ersten Spuren von Diffraktionssänmen auftreten (besonders auf der linken Hälfte des Bildes).

No. 2. Typhusbazillen mit Geißeln. Vergr. 1000 linear. Geißelfärbung nach Loeffler. Hartnacks apochromat. Ölimmersion 2 mm Brw. Projektionsokular No. 2 von Zeiss. Auer-Licht mit Pikrinfilter. Erythrosin-Badeplatte. Belichtungszeit 1 Minute.

Namenverzeichnis

Sachverzeichnis

Tafel I

Dünne Zenkersche Blättchen $\frac{1080}{1}$

Schneekristall $\frac{25}{1}$

Aufnahmen von Dr. R. Neuhauss

Neuhauss, Mikrophotographie. 3. Aufl. Verlag von S. Hirzel in Leipzig

Druck von Fischer & Wittig in Leipzig

Tafel II

Amphipleura pellucida $\frac{1800}{1}$

Aufnahme mit ultraviolettem Licht.

Lichtdruck von Sinsel & Co., G. m. b. H., Oetzsch-Leipzig.

Tafel III.

I.

Dr R. Neuhauss phot

Cortisches Organ. Lamina reticularis. $\frac{200}{1}$.

II.

Dr R. Neuhauss phot

Typhus Bacillen. $\frac{1000}{1}$.

Photogr. u. Druck v. Meisenbach Riffarth & Co. Berlin

R. Fuess, Steglitz b. Berlin.

MIKROSKOPE

für krystallographische und petrographische Studien.

Neue photographische Kamera D. R.-G.-M.
zu jedem Mikroskop passend nachlieferbar.
Für Format 7 × 7 komplett = **80** Mark
„ „ 9 × 12 „ = **40** „
Gewicht der Kamera 7 × 7 mit gefüllter Doppelkassette 160 Gramm.

Herr Prof. van Heurck hat neben anderen namhaften Gelehrten die kleine Kamera mit Vorteil zur Aufnahme der schwierigsten Objekte, wie Amphipleura pellucida usw. benutzt.

Mikrophotographische Kameras
nach **Dr. Scheffer,**

Stereographische Kameras nach **Dr. Scheffer.**

Projektionsapparate und optische Bänke
für alle Darstellungen mit
elektrischem Bogen- und Glühlicht, Zirkon- und Kalklicht, Gasglühlicht, Petroleumlicht.

Vergrösserungs- und mikrophotographische Apparate.

Reichhaltigster Katalog auf diesem Gebiet kostenlos.

Hauff-Entwickler

in Substanz, Patronen und konzentrierten Lösungen.

Metol-Hauff Amidol-Hauff Adurol-Hauff
Ortol-Hauff Piral-Hauff

Ausführliche Mitteilungen findet man im
Photo-Handbuch-Hauff. *Gratis!*

Für die Mikrophotographie besonders empfohlen:

Hauff-Trockenplatten

Sehr feines Plattenkorn! Klar arbeitend!

Glycin-Hauff

Langsam und ausserordentlich klar arbeitend! Haltbar!

Standentwicklungskasten.

Anerkannt praktischster Apparat für diesen Entwicklungs-Modus.

Bezug durch die Photo-Händler.

J. Hauff & Co., G. m. b. H., **Feuerbach** (Württemberg).

Druck von Fischer & Wittig in Leipzig.